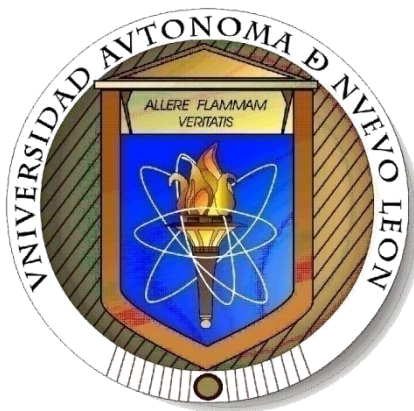


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**DEPOSICIÓN DE HOJARASCA Y RETORNO  
POTENCIAL DE NUTRIMENTOS EN DIFERENTES  
COMUNIDADES DE VEGETACIÓN**

**TESIS**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Presenta**

**TILO GUSTAVO DOMÍNGUEZ GÓMEZ**

**LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**DEPOSICIÓN DE HOJARASCA Y RETORNO POTENCIAL DE  
NUTRIMENTOS EN DIFERENTES COMUNIDADES DE  
VEGETACIÓN**

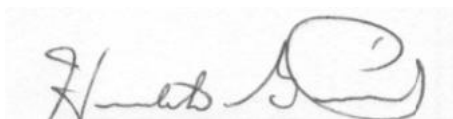
**TESIS DE MAESTRÍA**

Como requisito parcial para obtener el grado de  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta

**TILO GUSTAVO DOMÍNGUEZ GÓMEZ**

Comité de Tesis



---

**Dr. Humberto González Rodríguez**

**Director**



---

**Dr. Israel Cantú Silva**

**Asesor**



---

**Dr. Marisela Pando Moreno**

**Asesor**



---

**Dr. Marco Vinicio Gómez Meza**

**Asesor**

**LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

Bendito el hombre que confía en el Señor, y pone su confianza en él. Será como un árbol plantado junto al agua, que extiende sus raíces hacia la corriente; no teme que llegue el calor, y sus hojas están siempre verdes. En época de sequía no se angustia, y nunca deja de dar fruto.

**Jeremías 17:7-8**

**Esta tesis debe citarse:** Domínguez Gómez, T.G. 2009. Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrimentos en diferentes comunidades de vegetación. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 132 pp.

## DEDICATORIA

**EN MEMORIA:** de mis abuelitas la Sra. Estela Jiménez Villarreal y la Sra. Dorotea Ramos Gómez (Q. E. P. D.).

**A DIOS:** por darme la oportunidad de darme la vida y poder conocer este mundo, lleno de sabiduría y lograr una meta más en mi formación personal.

**A MIS PADRES:** Sra. Dora Gómez Ramos, y al Sr. Nelson Domínguez Jiménez por estar siempre pendiente de este su hijo, por educarme, guiarme y apoyarme durante las diferentes etapas de mi vida, esta meta también es de ustedes.

**A MIS HERMANOS:** Gabriela Domínguez Gómez (Mo) a Nelson Eduardo Domínguez Gómez (Gordo), quienes me han dado alegría y la oportunidad de saber que son los hermanos, gracias.

**A MI TIA:** Carmen Domínguez Jiménez, por estar últimamente a nuestro lado, y en cada vacaciones hacer agradable mi estancia.

**A María de los Ángeles Pinzón García,** por su comprensión en la toma de la decisión de estudiar, gracias por tu cariño y escucharme en cada momento que lo necesite.

A todas las personas que de alguna u otra forma me han ayudado en mis logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de Maestría y para este trabajo por medio del proyecto “ Cantidad, Calidad y Nutrientes Reciclados por la Hojarasca en un Gradiente Climático del Estado de Nuevo León con clave P52666533.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento por medio del proyecto (PAICYT 2 CN905-04 y CN133-05) y a la Facultad de Ciencias Forestales, por abrir las puertas para poder realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por ser el director de esta tesis por su paciencia, por el tiempo brindado en las asesorías de dicha investigación le agradezco el hecho de transmitirme sus conocimientos, tan valiosos, por inculcar el sentido de la investigación seria, por abrirme las puertas de su casa y poder convivir con su familia, por estar al pendiente de mi estancia durante estos años de estudio, y sobre todo por compartir sus experiencia de la Universidad de la vida.

Al Dr. Israel Cantú Silva por ser parte del comité de tesis, por las facilidades prestadas para poder realizar los análisis de suelos en el laboratorio a su cargo, por sus comentarios tan acertados para que esta tesis saliera adelante, y por el tiempo en la revisión de dicha investigación.

A la Dra. Marisela Pando Moreno, por ser parte del comité de tesis, por sus comentarios, y sugerencias en seminarios expuesto, sobre este tema de investigación, por el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis, y por las observaciones realizadas de escrito.

Al Dr. Marco Vinicio Gómez Meza, Profesor investigador de la Facultad de Economía (UANL), por su valiosa participación en los análisis estadísticos e interpretación de resultados referentes a esta investigación. Le agradezco su entera disposición y acertada asesoría para esta tesis.

Agradezco a la Sra. Elsa Dolores González Serna por su colaboración y ayuda en todos los análisis de laboratorio, por su paciencia y asesoría tan importante para realizar esta tesis.

A don Manuel Hernández Charles, por ser mi compañero de cubículo, estar siempre disponible para las salidas para coleccionar los datos de campo por compartir sus experiencias tan valiosas.

Al Sr. Joel Bravo Garza por brindarme su amistad, y por su valiosa ayuda en la colecta de campo, además de hacer mi estancia tan agradable en Linares.

Al Sr. Ascensión García Morales, Alfredo F. Ortega Guerra, Cesar J. Uribe, a los estudiantes Luis Gerardo Salazar de la Cerda, Jesús Jaime Martínez Rodríguez por su valiosa contribución en la colecta de datos de este estudio.

Al Sr. Pablo López González, por haber facilitado el rancho las Uvas, ubicado en el ejido Crucitas, donde se colectaron los datos para poder llevar a cabo esta tesis.

A María Inés Yáñez Díaz, por su ayuda en laboratorio de suelos, por su asesoría para que los análisis se llevaran a cabo y por esos momentos en donde nos reunimos a comer.

También agradezco a mis compañeros de la generación de Maestría, en la Facultad de Ciencias Forestales: José Encarnación Lujan (Yogi), José Guadalupe Colín (Salamandra), Antonio Conde Vázquez (La Negra), a Rafael Cruz Alonso (Tripas) por sus ayuda en la colecta de datos para la realización de esta tesis. A mi amigo Juan Manuel Sánchez por las aventuras que pasamos cuando regresamos de visita a Tabasco.

A mi amigo Juan Manuel López Hernández y a mi amiga Nidia Ayala Martínez, por ser tan agradable mi estancia durante este tiempo que compartimos en la misma casa.

A María del Socorro Alvarado, por su comprensión, cariño, y su apoyo en esta última etapa de escritura de esta tesis.

Y a todas esas personas con las que conviví en la Facultad, que involuntariamente omito.



## Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>iv</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	5
1.1.1 Objetivo General .....	5
1.1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.2. Hipótesis .....	6
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Generalidades sobre la importancia de la hojarasca .....	7
2.2 Estudios afines sobre la deposición de hojarasca.....	14
2.3 Estudios afines sobre la deposición de nutrientes vía hojarasca .....	19
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Localización y descripción de los sitios de estudio .....	25
3.2 Muestreo de la caída de hojarasca y frecuencia de recolección .....	28
3.3 Preparación de muestras .....	28
3.4 Determinación de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas.....	29
3.4.1 Determinación de nitrógeno .....	32
3.5 Caracterización física y química del suelo en el sitio de estudio.....	32
3.6 Caracterización de la vegetación en el sitio de estudio.....	37
3.7 Variables ambientales .....	46
3.8 Análisis estadístico.....	48

<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
4.1 Producción de hojarasca.....	49
4.2 Deposición total de hojarasca .....	51
4.3 Deposición del componente hojas .....	52
4.4 Deposición del componente estructuras reproductivas.....	53
4.5 Deposición del componente ramas .....	54
4.6 Deposición del componente otros .....	55
4.7 Contenido de nutrimentos en el componente hojas .....	57
4.7.1 Contenido de macro-nutrimentos.....	59
4.7.1.1 Contenido de Calcio (Ca) .....	59
4.7.1.2 Contenido de Potasio (K).....	59
4.7.1.3 Contenido de Magnesio (Mg) .....	61
4.7.1.4 Contenido de Fósforo (P) .....	61
4.7.1.5 Contenido de Nitrógeno (N).....	63
4.7.2 Contenido de micro-nutrimentos.....	64
4.7.2.1 Contenido de Cobre (Cu).....	64
4.7.2.2 Contenido de Hierro (Fe) .....	64
4.7.2.3 Contenido de Manganeso (Mn) .....	66
4.7.2.4 Contenido de Zinc (Zn) .....	66
4.8 Deposición anual de hojarasca .....	68
4.9 Deposición anual de nutrimentos vía hojas.....	69
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>6. IMPLICACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>

<b>8. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>88</b>
<b>RESUMEN CURRICULAR.....</b>	<b>107</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>108</b>

## RESUMEN

La caída de la hojarasca y su descomposición son procesos fundamentales para el ciclo de nutrientes en los ecosistemas forestales. En el noreste de México, sin embargo, pocos estudios se han dirigido en espacio y tiempo sobre la caída de hojarasca y deposición de nutrientes. Por tanto, la finalidad de este estudio fue determinar la producción de la caída de la hojarasca y deposición de macro- (Ca, K, Mg, N y P) y micro-nutrientes (Cu, Fe; Mn y Zn) a través del componente hojas, en diferentes comunidades de vegetación en el noreste de México. Los constituyentes de la hojarasca (hojas, estructura reproductivas (flores, frutos y semillas), ramas y otros (material fino de la planta como corteza, cuerpos de insectos y heces entre otros)) se cuantificaron a un intervalo de 15 días entre el 21 de Diciembre del 2006 y el 20 de Diciembre del 2007 en cuatro sitios experimentales; un sitio se ubicó en un bosque de pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl ), Bosque Escuela a 1600 msnm; el segundo sitio en el ecotono de un bosque de *Quercus* spp y matorral espinoso tamaulipeco (Crucitas a 350 msnm), el tercer y cuarto sitio en un matorral espinoso tamaulipeco (Campus a 350 msnm y Cascajoso a 300 msnm). En cada sitio se ubicó una parcela con una superficie de 2500 m<sup>2</sup> (50 m x 50 m), en donde se colocaron diez trampas (1.0 m<sup>2</sup> cada una) para la captura de la hojarasca. Dado que la mayoría de los datos para las fechas de muestreo y componentes de la hojarasca no presentaron igualdad en las varianzas, aun cuando se transformaron logarítmicamente, se empleo la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas entre los sitios y cada fecha de muestro. La deposición anual de la hojarasca fue de 4,407, 7,397, 6,304 y 6,527 Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso, respectivamente. De la producción de hojarasca total y anual, las hojas representaron la deposición más alta variando del 74% (Bosque Escuela) a 86% (Cascajoso) seguido por las ramas desde 4% (Cascajoso) a 14% (Crucitas), estructuras reproductivas desde 6% (Bosque Escuela) a 10% (Crucitas) y para otros desde < 1% (Campus) a 12% (Bosque Escuela). El aporte anual (Kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) de Ca fluctuó de 30 (Bosque Escuela) a 232 (Cascajosos); K de 7 (Bosque Escuela) a 37 (Cascajoso); Mg de 4 (Bosque Escuela) a 22 (Cascajoso); N de 18 (Bosque Escuela) a 85 (Crucitas y Campus); y P de 1 (Bosque Escuela) a 4 (Crucitas). Los valores en el uso eficiente de nutrientes en el componente hojas para Ca, K, Mg, N y P fueron mayor en el Bosque Escuela, mientras que los valores bajos corresponden a los sitios Cascajoso y Crucitas. El aporte anual (g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) de Cu fluctuó de 8.6 (Bosque Escuela) a 44.1 (Cascajosos); Fe de 273.0 (Bosque Escuela) a 1,120.0 (Cascajoso); Mn de 149.5 (Campus) a 990.6 (Crucitas) y Zn de 54.0 (Bosque Escuela) a 130.0 (Cascajoso). Sobre una base anual para todos los sitios, el orden de deposición de macro-nutrientes a través de del componente hojas fue como sigue: Ca>N>K>Mg>P; mientras que sobre una base para sitios la deposición total de macro-nutrientes (Ca+N+K+Mg+P) fue como sigue: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela.

**Palabras Claves:** Hojarasca, Componentes de la hojarasca, Nutrientes en hojas, Eficiencia en el uso de nutrientes, Bosque de pino, Bosque de encino, Matorral tamaulipeco, Noreste de México.

## SUMMARY

Litterfall and litter decomposition are key fundamental processes in nutrient cycling of forest ecosystems. In northeastern Mexico, however, few studies have addressed the spatial and temporal patterns of litterfall and nutrient deposition. Thus, the aim of this study was to determine the litterfall production and macronutrients (Ca, K, Mg, N, and P) deposition through leaves litter along an altitudinal gradient in northeastern Mexico. Litter constituents (leaves, reproductive structures (flowers, fruits and seeds), twigs or branches, and miscellaneous (unidentified residues, fine plant material such as bark, insect bodies and feces, among others)) were measured at 15-day intervals between December 21, 2006 and December 20, 2007 in four experimental sites: one site was located in a pine (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) forest (Bosque Escuela at 1600 m of altitude), second in the ecotone of a *Quercus* spp. forest and the Tamaulipan thornscrub (Crucitas at 550 m), third and fourth sites were in the Tamaulipan thornscrub (Campus at 350 m and Cascajoso at 300 m). Each site had a 2500 m<sup>2</sup> plot (50 m x 50 m) in which ten litter traps (1.0 m<sup>2</sup> each) were used for collections. Since for most sampling dates and litter constituents data had not equality of variances, even when data was logarithmically transformed, thus, the Kruskal-Wallis non parametric test was employed to detect significant differences among sites at each sampling date. Total annual litterfall deposition was 4407, 7397, 6304 and 6527 Kg ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> for Bosque Escuela, Crucitas, Campus and Cascajoso, respectively. Of total annual litter production, leaves were higher varying from 74% (Bosque Escuela) to 86% (Cascajoso) followed by twigs from 4% (Cascajoso) to 14% (Crucitas), reproductive structures from 6% (Bosque Escuela) to 10% (Crucitas), and miscellaneous litterfall from <1% (Campus) to 12% (Bosque Escuela). Annual Ca deposition (Kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) ranged from 30 (Bosque Escuela) to 232 (Cascajoso); K from 7 (Bosque Escuela) to 37 (Cascajoso); Mg from 4 (Bosque Escuela) to 22 (Cascajoso); N from 18 (Bosque Escuela) to 85 (Crucitas and Campus); P from 1 (Bosque Escuela) to 4 (Crucitas). Nutrient-use efficiency values for Ca, K, Mg, N, and P in leaf litter were higher in Bosque Escuela, while lower figures were acquired in Cascajoso and Crucitas. Annual Cu deposition (g ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) varied from 8.6 (Bosque Escuela) to 44.1 (Cascajoso); Fe from 273.0 (Bosque Escuela) to 1,120.0 (Campus) to 990.6 (Crucitas); and Zn from 54.0 (Bosque Escuela) to 130.0 (Cascajoso). On an annual basis for all sites, the order of nutrient deposition through leaves litter was: Ca>N>K>Mg>P; whereas, on site basis of total nutrient deposition (Ca+N+K+Mg+P) was as: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela.

**Keywords:** Litterfall production, Litter components, Leaves nutrients, Nutrient use efficiency, Pine forest, Oak forest, Tamaulipan thornscrub, Northeastern Mexico.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Parámetros optimizados del Espectrofotómetro de Absorción Atómica que se emplearon para determinar la concentración de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas.....	31
2	Métodos empleados para determinar las propiedades físico-químicas del suelo.....	34
3	Algunas propiedades físicas y químicas del suelo realizadas a la profundidad de 0-20 cm en cuatro fechas del año 2007 para los cuatro sitios de estudio.....	35
4	Algunas propiedades físicas y químicas del suelo realizadas a la profundidad de 20-40 cm en cuatro fechas del año 2007 para los cuatro sitios de estudio .....	36
5	Hábitos de crecimiento de las especies vegetales identificadas en los cuatro sitios de estudio.....	38
6	Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Bosque Escuela.....	40
7	Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Crucitas.....	41
8	Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Campus.....	43
9	Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Cascajoso.....	45
10	Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican diferencias en los componentes de la hojarasca y en la deposición total (por fecha de muestreo y anual) en los cuatro sitios de estudio	50

11	Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican diferencias en el contenido de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas (por fechas de muestreo) en los cuatro sitios de estudio.....	58
12	Deposición ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) anual de los componentes de la hojarasca.....	68
13	Deposición anual de macro (Ca, K, Mg, P y N; $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn; $\text{mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) vía hojas y uso eficiente de macro-nutrientes (UEMaH).....	70
A1	Resultados de las pruebas de normalidad para todas las observaciones en los componentes de la hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas....	109
A2	Resultados de las pruebas de normalidad, por fecha de muestreo y componentes de la hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.....	110
A3	Resultados de las pruebas de normalidad para todas las observaciones de nutrientes. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.....	113
A4	Resultados de las pruebas de normalidad, por fecha de muestreo y nutrientes. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.....	114
A5	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente hojas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	117

A6	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente estructuras reproductivas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	118
A7	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente ramas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	119
A8	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente otros. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	120
A19	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para la deposición de hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	121
A10	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Ca en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	122
A11	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de K en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	123



A12	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Mg en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	124
A13	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de P en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	125
A14	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de N en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	126
A15	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Cu en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	127
A16	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Fe en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	128
A17	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Mn en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	129

A18	Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Zn en el componente hojas. Valores $P < .0041$ indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.....	130
-----	--	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	El ciclo interno de nutrientes en un bosque está formado principalmente por los flujos dentro de las plantas, y los flujos entre la comunidad biótica y el suelo.....	21
2	Localización de los sitios de estudio.....	27
3	Temperatura media mensual (a) y precipitación mensual (b) registrada en cada sitio de estudio.....	47
4	Deposición de hojarasca en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) $\pm$ error estándar.....	52
5	Deposición de hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) $\pm$ error estándar.....	53
6	Deposición de estructuras reproductivas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) $\pm$ error estándar.....	54
7	Deposición de ramas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) $\pm$ error estándar.....	55
8	Deposición de otros en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=10) $\pm$ error estándar.....	56
9	Patrón del contenido de Ca (a) y K (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) $\pm$ error estándar.....	60
10	Patrón del contenido de Mg (a) y P (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) $\pm$ error estándar.....	62
11	Patrón del contenido de Nitrógeno en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) $\pm$ error estándar.....	63

12	Patrón del contenido de Cu (a) y Fe (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) $\pm$ error estándar.....	65
13	Patrón del contenido de Mn (a) y Zn (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media (n=5) $\pm$ error estándar.....	67
A1	Panorámica de los sitios de estudio. Bosque Escuela (a), Crucitas (b), Campus (c) y Cascajoso (d).....	131
A2	Deposición de los diferentes componentes de la hojarasca en Bosque Escuela (a), Crucitas (b), Campus (c) y Cascajoso (d).....	132

## 1. INTRODUCCIÓN

La inquietud por llegar a conocer la composición de las plantas es muy antigua, ya que se remonta a la época de Aristóteles, sin embargo, a partir del siglo XIX es cuando se establecieron las bases para el conocimiento acerca de la nutrición de las plantas. Se sabe que el bajo nivel de los nutrimentos en las plantas se debe a los cambios estacionales, y a la madures de la mismas, así como también al tipo y manejo del suelo. También se conoce que el abastecimiento de minerales está influenciado por el clima. Se ha establecido que los análisis foliares de elementos minerales han sido empleados como indicador no solamente del estrés entre especies vigorosas y pobres sino también para poder describir la productividad de un ecosistema estos estudios dan la pauta para determinar su potencial en el área forestal y así definir su potencial y valor nutricional que posee cada una de ellas y poder así dar el mejor uso según el propósito específico (Domínguez y González, 2002).

Una de las características propias de la mayor parte de los ecosistemas forestales es el desarrollo de una cubierta orgánica que resulta del retorno periódico, a través de la caída de las hojas, ramas, corteza, frutos y a veces árboles completos. Esta acumulación de restos orgánicos, citados bajo el nombre de hojarasca, retiene una gran proporción de los nutrientes extraídos del suelo por los árboles (Prause *et al.*, 1997). La calidad y cantidad en cada uno de los componentes de la hojarasca y nutrientes varía sobre una base estacional de acuerdo al sitio de estudio. Estas diferencias pueden asumirse como reflejo de variaciones climáticas ya que la

producción de hojarasca está influenciada por factores como precipitación, temperatura y humedad relativa ambiental, entre otros (Vargas y Varela, 2007). Por otro lado, Read y Lawrence (2003), Vasconcelos y Luizão (2004) y Dent *et al.* (2006) mencionan que los nutrientes contenidos en el suelo son el resultado de la deposición y descomposición de la hojarasca. Sin embargo, Palma *et al.* (2000), afirman que las diferencias estacionales en la producción de la hojarasca podrían estar relacionadas con las fluctuaciones extremas del clima y/o cambios fenológicos tales como la abscisión y mudas, iniciación del brote, floración y fruto.

La importancia de la hojarasca en el retorno de nutrimentos y la acumulación de materia en el suelo ha sido ampliamente documentada en diferentes ecosistemas (Jorgensen *et al.*, 1975; Lugo *et al.* 1990). Esta vía, además de la precipitación directa y flujos corticales (Silva y González, 2001), es la fuente principal de fertilización natural. Más de la mitad de la absorción anual de nutrimentos en los bosques es debida a la reincorporación de hojarasca al suelo y el subsiguiente reciclaje de estos nutrientes representan la principal fuente de minerales disponibles (Del Valle-Arango, 2003). Adicionalmente, la deposición de la hojarasca al suelo es muy importante, ya que produce un mantillo orgánico sobre la superficie del suelo, el cual a través de su descomposición por la actividad de procesos biológicos, bioquímicos y factores ambientales, tendrá un efecto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y consecuentemente, determina el potencial de las especies para mejorar la calidad de la fertilidad del suelo y productividad del ecosistema (Semwal *et al.*, 2003).

La cantidad de hojarasca producida por una comunidad vegetal es la sumatoria de los detritos vegetales aéreos finos aportados al suelo durante un

período de tiempo, expresados en peso seco. Allí se incluyen, por tanto, hojas, flores, frutos, semillas y ramas, entre otros. Por lo regular se expresan en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ . La calidad de la hojarasca se refiere al tenor de nutrientes contenidos en ella (Del Valle-Arango, 2003). La cantidad de bioelementos contenidos en esa hojarasca constituye la principal fuente de nutrientes incorporados al suelo en los ecosistemas naturales, una vez que la hojarasca se descompone. Por tanto, en un alto porcentaje, su ciclo en ecosistemas forestales se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su posterior descomposición.

Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fuste, ramas, hojas, raíces y materia orgánica. Se estima que la producción de biomasa a nivel mundial oscila entre 50 a  $75 \times 10^9$  Mg (Roed y Fuhr, 1990; citado por Nájera, 1999).

Considerando que la materia orgánica y los nutrientes de la vegetación se incorporan al suelo por la hojarasca, Pavón *et al.* (2005) señalan que la producción de la hojarasca está relacionada con la cantidad de lluvia que reciben las plantas durante su fase de crecimiento.

González *et al.* (2008), estudiaron durante dos años la deposición de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco y obtuvieron los siguientes resultados: las hojas representaron el componente principal de la hojarasca con una fluctuación de 62 al 67% seguido de las ramas con promedio de 12 al 27% y las estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas) varió de un 6 a un 12%. En lo que respecta a otros componentes de la hojarasca, estos valores fluctuaron del 4 al 11%. En dicho estudio los autores concluyeron que la deposición de la hojarasca está relacionada con las temperaturas extremas y altas precipitaciones. Así mismo,

González *et al.* (2006), en un estudio realizado en el Noreste de México han revelado que durante los meses húmedos (agosto y septiembre) cuando las lluvias son fuertes, los componentes más depositados son ramas y frutos; mientras que, en los meses de sequía e invierno el componente de mayor cantidad son las hojas debido a lo escasa humedad y a las bajas temperaturas que se presentaron. Similarmente, Pavón *et al.* (2005), indican que en un estudio realizado en una región semiárida de México, el contenido de nitrógeno en la hojarasca de *Mimosa luisana* (Mimosaceae) está relacionada con variables ambientales tales como temperaturas máximas y precipitación.

En el Estado de Nuevo León, existen diferentes tipos de vegetación entre los que destacan los Bosques de Pino, Encino y Pino-Encino (Vargas, 1999; Silva y González, 2001) y los matorrales subtropicales de las planicies semiáridas de la región Noreste de México, los cuales están dominados por una diversidad muy densa de especies arbustivas. Este último tipo de vegetación, denominado Matorral Espinoso Tamaulipeco, está constituido de especies deciduas y siempre verdes o perennes (Reid *et al.*, 1990) y está caracterizada por un amplio rango de patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y de contrastantes desarrollos fenológicos. A pesar de la diversidad de estudios florísticos, ecológicos, y biólogos realizados en los diferentes tipos de vegetación anteriormente descritos, no se ha documentado la deposición de hojarasca en este tipo de ecosistemas, en el cual las especies vegetales tienen una diversidad de usos tales como forraje para la ganadería extensiva y fauna silvestre, carbón, madera para la construcción, estantería, alimentos, herbolaria, medicina tradicional y propagación de plantas para llevar a cabo prácticas de reforestación, restauración y conservación de



suelos. Por tanto, esta región proporciona una oportunidad para investigar no únicamente el aporte de los diferentes constituyentes de la hojarasca proveniente de las distintas estructuras de la vegetación tales como hojas, ramas, inflorescencias, frutos, semillas, entre otras, sino que también, se puede caracterizar el aporte de nutrimentos incorporados a través de cada uno de sus componentes.

En virtud de la importancia ecológica de la deposición de la hojarasca en los ciclos biogeoquímicos de los elementos aportados por la misma y su relación a variables climáticas como ha sido recientemente documentada por Pavón *et al.* (2005) y González *et al.* (2006), la presente investigación pretende llevar a cabo el siguiente objetivo general.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Cuantificar la deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrimentos en hojas, en diferentes comunidades vegetales del Noreste de México.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Cuantificar las fluctuaciones de los diferentes componentes que constituyen la deposición de la hojarasca tales como las hojas, flores, frutos, semillas, ramas, entre otros.

- b) Determinar el contenido de macro- (Ca, K, Mg, P y N) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas de la hojarasca.
- c) Asociar la estructura vegetal a la deposición de hojarasca.

## **1.2. Hipótesis**

- a) El tipo de comunidad vegetal no influye en la deposición de la hojarasca y por tanto, los sitios de estudio producen cantidades similares de hojarasca.
- b) El retorno potencial de nutrientes vía el componente hojas, es similar en los diferentes comunidades vegetales.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades sobre la importancia de la hojarasca

México es considerado un país megadiverso, ya que alberga por lo menos 10% de la diversidad biológica del mundo. Sin embargo, los ecosistemas están siendo degradados por múltiples actividades antrópicas, sin conocer aún su utilidad potencial, la cual constituye una fuente de riqueza ecológica, genética, social, económica, educativa, cultural, recreativa y estética. La preservación y utilización sostenible de la biodiversidad reviste vital importancia para la satisfacción de las necesidades alimentarias, sanitarias y de otra índole en la creciente población mundial (Granados *et al.*, 2000; Robles *et al.*, 2004; Harrison *et al.*, 2006; Pereira y Daily, 2006).

Los ecosistemas naturales producen beneficios importantes para la sociedad, tanto directos (madera, frutos, leña, caza, etc.) como indirectos (regulación del ciclo hidrológico, protección contra la erosión, protección contra las avalanchas en altas montañas, mantenimiento de la composición atmosférica, mantenimiento de la vida silvestre, de la diversidad vegetal y animal) y aportan belleza, esparcimiento y educación. Estos beneficios pueden llegar a desaparecer si la estabilidad de las masas forestales es afectada a largo plazo por las actividades humanas. Entre éstas, el inadecuado manejo forestal puede conducir a una disminución de la biomasa y, por tanto, de la producción extraíble. Cualquier actividad de extracción puede modificar factores tan importantes como la biodiversidad, la erosión, el microclima, las características y composición del suelo, el régimen hídrico y el paisaje, entre

otros. Por tanto, un conocimiento profundo de las consecuencias del deficiente manejo forestal es esencial para el mantenimiento sostenible de nuestros ecosistemas (Castillo *et al.*, 2003).

Gasparri *et al.* (2005), definen como biomasa por encima del suelo toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo incluyendo los fustes, las ramas, la corteza, semillas y hojas; y como biomasa por debajo del suelo, toda la biomasa como las raíces; y como biomasa muerta toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte de la hojarasca, ya sea en pie ó sobre el suelo. Por otro lado, Gayoso (2001), define biomasa aérea como aquella que está constituida por componentes tales como hojas, ramas y fuste, cuyas proporciones varían tanto por especie como por las dimensiones de las plantas. Dentro de la interrelación suelo-planta, es importante la caída de hojarasca (Duvigneaud, 1978; citado por Santa Regina *et al.*, 1989), denominándose así al conjunto de órganos vegetales (hojas, ramas, frutos, inflorescencias, cortezas, etc.) y de restos animales que caen al suelo del bosque, procedentes de los distintos estratos de la vegetación, con exclusión de raíces. Todo este conjunto de órganos sumados a la cantidad de raíces muertas constituye la principal vía de entrada de materia orgánica al suelo en los ecosistemas forestales.

Sobre un suelo forestal se van depositando diferentes materiales, provenientes de distintos estratos de vegetación, como hojas, ramas, inflorescencias, frutos, cuyo conjunto se denomina hojarasca, pero en los ecosistemas forestales, la fracción más importante corresponde a las hojas (órganos más abundantes). En cualquier tipo de bosque, la mayor caída de hojarasca se produce cada año en un tiempo determinado, de esta manera, el comportamiento de una especie está evidenciado por la ocurrencia de las fases fenológicas como consecuencia de los

estímulos de los elementos del clima, principalmente la temperatura y la precipitación (Santa Regina, 1987).

La hojarasca foliar es la principal fuente de nutrientes del suelo forestal (Vitousek y Sanford, 1986; Landsberg y Gower, 1997) y representa el 80% del total de nutrientes retornados al suelo por los detritos del árbol (Santa Regina y Tarazona, 2001). La cantidad y naturaleza de la hojarasca tienen una importante relación con la formación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad, de ahí que la cuantificación de su producción y naturaleza sea una importante aproximación para la comprensión de los bosques y del ciclaje de nutrientes (Rai y Proctor, 1986). La importancia del estudio del ciclo biogeoquímico de los bosques radica en que éste es un proceso integrador en el que participan, y por el que se ven afectadas, características estructurales y funcionales del ecosistema tales como la fotosíntesis, la respiración, la absorción radical de nutrimentos, entre otros (Cole y Rapp, 1981; Roda, 1993; Moreno, 1994).

La deposición de hojas juegan un papel importante al proveer cobertura al suelo modificando el ambiente edáfico, conforme se descompone esta hojarasca se convierte en fuente importante de materia orgánica y activando el ciclo biogeoquímico de elementos (Gliessman, 2002). Los árboles permiten una captura más eficiente de la energía solar y favorecen la adsorción, retención o captura de carbono y nitrógeno sobre y bajo el suelo (Montagnini y Jordan, 2002). Además, reciclan nutrientes y mantienen el sistema en un estado de equilibrio dinámico, al reducir la dependencia del sistema sobre insumos externos (Gliessman, 2002).

La cantidad de hojarasca es parte sustancial de la productividad primaria neta (PPN) de una comunidad vegetal, por lo que generalmente se acepta que

$$PPN = \Delta w + W_{\text{det}} + W_{\text{herb}}$$

Donde;  $\Delta w$ , aumento de biomasa aérea y subterránea;  $W_{\text{det}}$ , detritos orgánicos constituidos por la hojarasca, árboles muertos o partes desprendidas de ellos y la biomasa vegetal subterránea muerta; y  $W_{\text{herb}}$ , pérdida de biomasa debida a la herbivoría; todos ellos en peso seco por unidad de superficie y de tiempo (Newbould, 1967; Landsberg y Gower, 1997). La hojarasca fina puede constituir entre el 25 y 60% de la PPN (Wright, 1996), siendo esta última el límite máximo de la productividad económica y el sustento de la vida animal y de otras que no fotosintetizan.

La cantidad de hojarasca fina producida por una comunidad vegetal es la sumatoria de los detritos vegetales aéreos finos aportados al suelo durante un período de tiempo, expresados en peso seco. Allí se incluyen, por tanto, hojas, flores, frutos y ramitas, entre otros. Por lo regular se expresan en  $\text{ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  ó en  $\text{g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ . La calidad de la hojarasca se refiere al tenor de nutrientes contenidos en ella. La cantidad de bioelementos contenidos en esa hojarasca constituye la principal fuente de nutrientes incorporados al suelo en los ecosistemas naturales, una vez la hojarasca se descompone. Por tanto, en un alto porcentaje, su ciclo en las selvas se encuentra ligado con el aporte de hojarasca y su posterior descomposición (Del Valle-Arango, 2003).

El manejo técnico y responsable de un bosque requiere de estudios básicos sobre las características ecológicas de la comunidad así como también de las especies que la componen. Estos estudios deben incluir a los que tratan de determinar la cantidad de materia orgánica que se encuentra acumulada en un momento y lugar específico, así como al contenido de nutrimentos que se encuentra retenido en ellas. La cantidad de materia orgánica o biomasa puede estimarse directamente por pesada o indirectamente midiendo los volúmenes y densidades de sus diversos componentes, estableciéndose ecuaciones que permitan utilizar información que se recolecta en los inventarios forestales y así cuantificar tanto la biomasa aprovechada con fines forestales (fuste) como la que queda abandonada en el bosque.

La vegetación es la fuente de mayor aportación de biomasa y nutrientes al suelo. La incorporación y descomposición son afectadas por factores como la velocidad del viento, la temperatura, la humedad y el estrés hídrico. Aproximadamente el 50% de la materia orgánica vegetal es carbono y el intercambio del mismo con la atmósfera se puede predecir y estimar conociendo la biomasa. Los bosques y selvas capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos de la fotosíntesis, respiración y degradación de la materia orgánica. El saldo es una captura neta positiva cuya cantidad depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como la edad, distribución, tamaños, estructura y composición de ésta (Torres y Guevara, 2005).

En bosques siempre verdes, bajo climas poco estacionales, como en la selva de Costa Rica, cuyas temperaturas y precipitación anuales son de 26°C y 3660 mm, respectivamente, se ha observado una asociación positiva entre la precipitación y la

hojarasca depositada (Parker, 1994); quizá esto se asocie al efecto físico de la lluvia sobre el follaje.

Brown y Lugo (1982), mencionan que existe una relación entre la producción de hojarasca y las condiciones climáticas, razón entre temperatura media anual y precipitación media anual. Mientras que (Spain, 1984), no encontró relaciones claras entre la producción de hojarasca (total y foliar) y variables tales como la altitud, latitud y precipitación. En zonas áridas, el agua es el factor principal que limita primordialmente la productividad y muchas especies responden reduciendo su transpiración a través de la pérdida de hojas (Noy, 1985; Stienen *et al.*, 1989).

Las reservas de materia orgánica en el suelo son el capital primario del ecosistema forestal (Fassbender, 1996). Las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca están reguladas fundamentalmente por procesos y factores biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad y densidad del bosque (Hernández, *et al.*, 1992). Se ha documentado que los patrones estacionales en la producción de hojarasca están determinados principalmente por el comportamiento funcional de las especies vegetales, si bien hay una influencia notable de factores climáticos, edáficos, topográficos y de la propia estructura del bosque (González y Gallardo, 1982). Su producción se relaciona generalmente con la calidad productiva del sitio (Albrektson, 1988). Esta hojarasca vegetal es muy importante, puesto que produce una especie de abrigo orgánico sobre la superficie de los suelos forestales dando por resultado un microclima edáfico peculiar y proporciona las condiciones adecuadas para un espectro más amplio de organismos (Pritchett, 1991).



La caída de la hojarasca está influenciada en ocasiones, por precipitaciones de intensidad elevada que están acompañadas de vientos de gran velocidad, con lo cual los mayores valores de producción de hojarasca, supuestamente relacionados con tales eventos de lluvia, son en realidad producto del golpe de la masa de aire que ocasiona el desprendimiento de hojas de manera anticipada (Zapata *et al.*, 2007). La descomposición de hojarasca, por su parte, es más rápida en condiciones de alta humedad en el suelo. En condiciones de temperaturas extremas (altas o bajas) se inhibe la descomposición (Didham, 1998). Por tanto, los cambios microclimáticos en los fragmentos de bosques podrían afectar la producción y descomposición de hojarasca.

Una alta producción y baja tasa de descomposición de la hojarasca pueden resultar en la acumulación de la misma en el horizonte superficial del suelo, aumentando su cantidad y espesor, y con ello, la acumulación de nutrientes en el horizonte superficial del suelo y limitación de nutrientes para los productores primarios (Melillo y Aber, 1982; Didham, 1998).

La fragmentación de los bosques, podría afectar el ciclo de nutrientes. Se ha reportado que en bosques tropicales la fragmentación aumenta la producción de hojarasca (Lovejoy *et al.*, 1986). La tasa de descomposición, por su parte, puede ser más lenta en los fragmentos que en el bosque continuo (Didham, 1998). La fragmentación de los bosques es un problema frecuente a nivel mundial ya que trae como consecuencia la pérdida de nutrientes en el suelo, además de la pérdida de la flora y fauna, lo que afecta el ciclo biogeoquímico de otras áreas (Groom y Schumaker, 1993; Withmore, 1997).

## 2.2 Estudios afines sobre la deposición de hojarasca

El conocimiento de los procesos periódicos que ocurren en un ecosistema, como los patrones de productividad, permiten entender el potencial de las plantas para aprovechar los recursos del sitio. Esta información es clave en el entendimiento de la ecología de las especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas. También la sociedad se beneficia directamente porque dan bases para el manejo y aprovechamiento de diferentes bienes y servicios derivados de la productividad (Bracho y Puig, 1987).

Considerando que la materia orgánica y los nutrientes de la vegetación se incorporan al suelo por la hojarasca, Pavón *et al.* (2005), reportan que la producción de la hojarasca está relacionada con la cantidad de lluvia que reciben las plantas durante su fase de crecimiento.

Kadeba y Aduayi (1985), estudiaron el patrón y la cantidad estacional de hojarasca en un área de *Pinus caribaea* Morelet, en Nigeria, y concluyeron que la estación donde más alta deposición de hojarasca ocurrió fue en los meses secos. En dicho estudio se encontró que los valores de deposición de hojarasca fluctuaron de 3068 a 3665 kg ha<sup>-1</sup>.

González *et al.* (2008), estudiaron durante dos años consecutivos la deposición de hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, estimando una deposición que fluctuó de 4,472 a 6,743 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En dicho estudio, las hojas representaron el componente principal de la hojarasca con una fluctuación de 62 a 67%, seguido de las ramas con una contribución del 12 al 27%, y las estructuras reproductivas de 6 al 12%. En lo que respecta a la deposición de otros componentes,

la contribución varió del 4 al 11%. En dicho estudio los autores concluyeron que la deposición de la hojarasca está influenciada por las temperaturas extremas y altas precipitaciones. Similarmente, Pavón *et al.* (2005), indican en un estudio realizado en una región semiárida de México, que el contenido de N en la hojarasca de *Mimosa luisana* (Mimosaceae) está relacionada con variables ambientales tales como temperaturas máximas y precipitación.

Hernández (2006), estimó la incorporación de la biomasa aérea al suelo en un bosque coetáneo de *Pinus* spp en la región El Salto, Durango, encontrando que el aporte anual de biomasa aérea total fue de 7,903 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, del cual el 29% corresponde a la deposición de conos, el 41% a hojas y el 30 % de ramas. Mientras que Hernández *et al.* (2007), reportan el aporte de biomasa aérea en *Pinus. cooperi* y *Pinus. leiphylla* en el macizo montañoso denominado Sierra Madre Occidental en los ejidos La Victoria, San Antonio y anexos, en El Salto Durango, registrando valores de deposición de entre 5,546 a 7,788 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Robles y Barea (2006), cuantificaron, en un ecosistema semiárido del sureste español, encontrando una deposición de 387 g m<sup>-2</sup> de hojarasca provenientes casi de su totalidad de la especie *Anthyllis cytisoides*, mientras que Rico y Lot (1983), reportaron una producción anual de 905 g m<sup>-2</sup> para una zona de manglar en México. Por otro lado, Gallardo *et al.* (1995), estimaron producciones anuales de 625, 562 y 713 g m<sup>-2</sup> en rodales de *Castanea sativa*, *Quercus pyrenaica* y *Pinus sylvestris*, respectivamente, en España. Mientras que Santa Regina *et al.* (1989), registraron una acumulación anual total de 7000, 6,300 y 5,600 kg ha<sup>-1</sup> en rodales de *Castanea sativa*, *Quercus pyrenaica* y *Pinus sylvestris*, respectivamente. En otro estudio, Santa Regina (2000), evaluó la deposición de hojarasca en un rodal de *Castanea sativa*

observando deposiciones de hojas, ramas, y estructuras reproductivas de 3,429 (69.8 %), 728 (14.8 %), 482 (14 %) kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Robles y Barea (2006), reportan que el 88% de la deposición de la hojarasca de *Anthyllis cytisoides* se concentró al final de la primavera e inicio del verano, coincidiendo con la ocurrencia de las temperaturas más altas y el contenido de humedad más bajo en el suelo.

Por otra parte, Di Stefano y Fournier (2005), evaluaron la caída de hojarasca en la especie *Vochysia guatemalensis*, donde, obtuvieron durante un año, un total de 750 g m<sup>-2</sup> de los cuales 486 g fueron de hojas y 232 de ramas. A pesar de ser un monocultivo, las hojas representaron el mayor componente del total de la hojarasca recolectada con un 51%, seguido de la ramas con un 25% y para el componente otros un 21%; valores son similares a los encontrados en otros estudios de ecosistemas tropicales muy húmedos (Anderson y Swift, 1983). Otras investigaciones han revelado que las mayores deposiciones de hojarasca coincidieron con el periodo más seco y ventoso del año (Frankie, *et al.*, 1974; Fournier 1976).

Gallardo *et al.* (1995), mencionan que la tasa de descomposición media del material vegetal depositado en el suelo también resulta afectada por la variables del clima y del propio suelo, reportando un 36% de pérdida de materia seca, para la hojarasca de *Castanea sativa* y 30% para la de *Pinus sylvestris*. Por su parte, Huang y Schoenau (1997), reportan pérdidas de materia seca de 36% y 41% respectivamente, para la hojarasca de *Populus tremuloides* y *Corylus cornuta* en un bosque boreal del norte de Canadá. Al igual que con la deposición, la tasa de mineralización depende de las condiciones ambientales, particularmente la humedad

disponible en el suelo (Gressel *et al*, 1995), y de la composición química del material que sufre el proceso (Mtambanengwe y Kirchmann, 1995). Dezzee y Chacón (2006), reportan para un bosque en la Gran Sabana, al sureste de Venezuela, deposiciones anuales de hojarasca para el bosque alto, medio y bajo de 5.2, 5.7 y 3.9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Sánchez *et al.* (2003), determinaron la producción de hojarasca durante un año en un bosque semideciduo situado en Brasil. El total anual estimado fue 8.7 Mg ha<sup>-1</sup>. De esa cantidad, el 64% correspondió a hojas, el 23% a ramas, el 6% a elementos reproductivos, el 1% a corteza, mientras que el 6% se catalogó como miscelánea (fragmentos no identificados). En otro estudio (Palacios, 2002), evaluó la producción de hojarasca en un bosque fragmentado y un bosque continuo en Chile, encontrando una deposición de 8.13 y 8.36 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; las hojas representaron un 75%, seguido de la ramas con un 15%, flores y frutos con un 7.5 %, corteza y líquenes con un 1% y por último las semilla con un 0.5 % del peso total de la hojarasca anual.

Vargas y Varela, (2007), estimaron la producción anual de hojarasca total de un bosque de niebla en Colombia, reportando, una producción de 5.24 a 7.32 Mg ha<sup>-1</sup>. Las hojas aportaron el 74%, las ramas el 11%, las partes reproductivas el 10.6%, plantas epífitas 3.6% y fragmentos no identificados 0.6%. En dicho estudio se encontró que a mayor humedad relativa y temperatura ambiente, menor producción de hojarasca. Por otro lado, Mosquera *et al.* (2007), cuantificaron una deposición anual de la hojarasca del orden de 7.2 Mg ha<sup>-1</sup> en un bosque pluvial tropical en Colombia; representando las hojas un 61%, los tallos 30%. Los frutos, flores, semillas, vegetación asociada y material indeterminado representaron el 3.4, 0.84,

0.56, 0.84 y 4.18%, respectivamente, observándose una relación negativa entre el aumento en la precipitación y la producción de hojarasca; en cambio, la relación de las características de la vegetación con la producción de hojarasca fue baja.

Del Valle-Arango (2003), cuantificó la deposición de hojarasca anual en un Bosque Pantanoso del Pacífico Sur Colombiano, observando una producción media de  $11.7 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Las hojas, flores y frutos y ramas representaron el 74, 12 y 14%, respectivamente. Prause *et al.*, (2003), estimaron el aporte anual de hojas al suelo proveniente de cuatro especies forestales nativas de importancia económica en Argentina, observando los siguientes resultados para *Gleditsia amorphoides*, *Patagonula americana*, *Maclura tinctoria* y *Astronium balansae* 1095, 373, 930 y 249  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente, encontrando solo diferencias para la especie *Gleditsia amorphoides*.

Ramírez *et al.* (2007), determinaron la producción de hojarasca en plantaciones forestales de *Pinus patula*, *Cupressus lusitánica* y en un bosque de *Quercus humboldtii* encontrando los siguientes valores de deposición 8.36, 3.72 y 7.87  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  respectivamente. Fernández *et al.* (2000), evaluaron la caída de la hojarasca en plantaciones de 40 y 20 años de *Araucaria angustifolia*, observando valores mensuales del orden de 855 y 739  $\text{Kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Estudios realizados por Sánchez *et al.* (1993), consideran que al someter la *Erythrina sp.* a condiciones de precipitación poco estables y suelos poco fértiles, se logra una producción de  $2.64 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de biomasa seca, mientras que Alpizar *et al.* (1983), al evaluar *E. poeppigiana* en un sistema agroforestal con café encontraron un aporte de biomasa seca de  $12.58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En plantaciones de la especie *Terminalia amazonia*, al cabo de 10 años, con una densidad de 1111 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ,

Cordero *et al.* (2003), reportan un aporte de biomasa seca de 91.7 Mg ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Di Stefano y Fournier, (1998), evaluaron la deposición de hojarasca anual de *Vochysia guatemalensis* y encontraron que esta especie aporta una cantidad de 32.3 Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca.

Pavón *et al.* (2001), estudiaron la deposición de la hojarasca de siete especies vegetales en Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México, observando valores (g m<sup>-2</sup>) mensuales para *Mimosa luisana* de 0.77, *Prosopis laevigata* de 0.27, *Cercidium praecox* de 0.21, *Ipomoea arborescens* de 0.14, *Mascagnia seleriana* de 0.09, *Caesalpinia melanadenia* de 0.07 y *Beaucarnea gracilis* con 0.54.

Xibiao *et al.* (2006), estudiaron la dinámica de la hojarasca en *Pinus tabulaeformis* Carr. en un bosque montañoso de la provincia de China, teniendo rodales con edades de 10, 30, 50 y 80 años; la deposición anual de hojarasca fue de 1.26, 2.76, 2.25 y 2.00 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

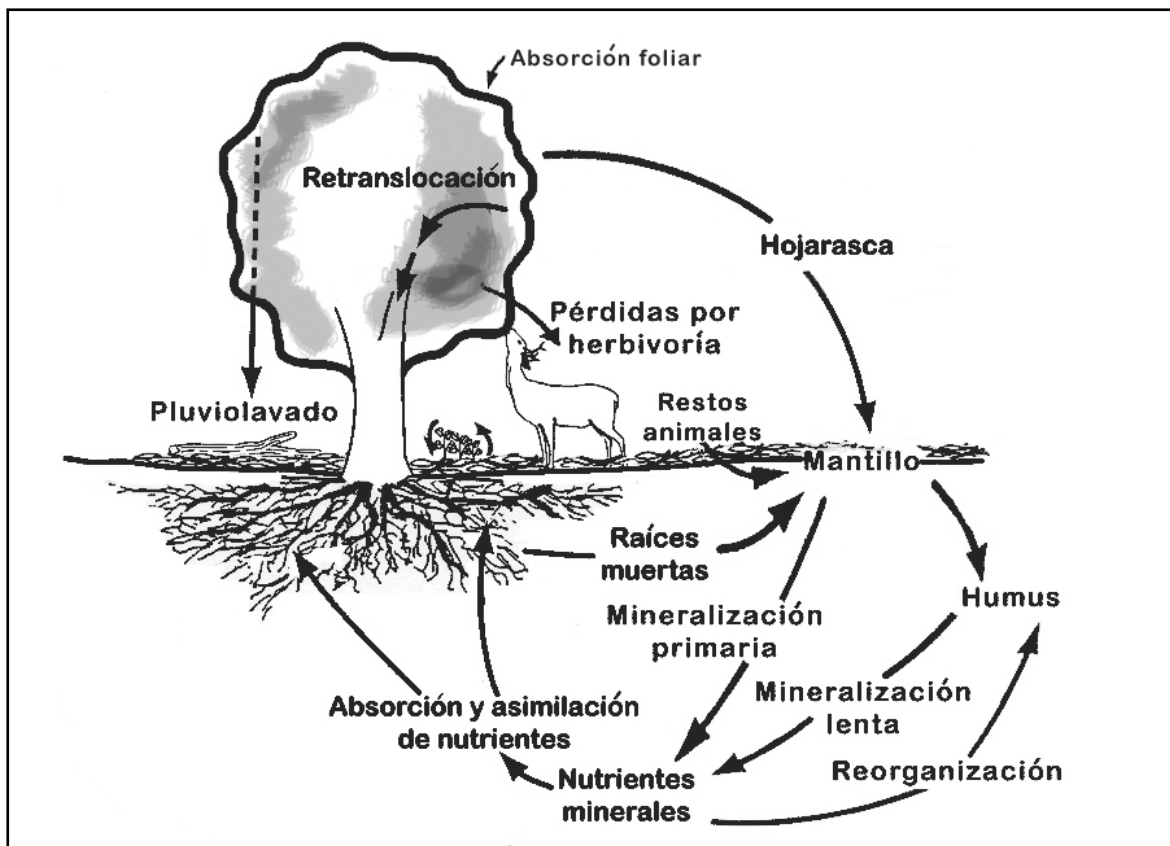
### **2.3 Estudios afines sobre la deposición de nutrientes vía hojarasca**

Los análisis de nutrimentos que se realizan en las plantas nos dan la pauta para determinar su potencial y definir el valor nutricional que posee cada una de ellas y poder así darle el mejor uso según el propósito específico. La eficiencia se ha definido como el rendimiento de biomasa dividido por el suministro. Desde un punto de vista agronómico, la eficiencia nutrimental se define usualmente por las diferencias en el crecimiento relativo o en la producción cuando se crece en un medio deficiente o inapropiado. Así mismo, se ha establecido y documentado que los análisis foliares de elementos minerales han sido empleados como indicadores, no

solamente de estrés entre especies vigorosas y pobres, sino que también para describir la productividad de un ecosistema (González y Cantú, 2001). Aunado a lo anterior, los nutrimentos minerales juegan un papel importante no únicamente en procesos y funciones biológicas de la planta, sino que también determinan en gran medida la cantidad y calidad de forrajes e incrementan la productividad del mismo cuando las condiciones climáticas son favorables (González y Cantú, 2001).

El ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal consta de la entrada de nutrientes al ecosistema (meteorización de la roca madre, fijación biológica de nitrógeno, aportes atmosféricos, transferencias por biota), del flujo de nutrientes entre las plantas y el suelo (absorción radicular y foliar, retranslocación, pluviolavado, pérdidas por herbivoría, desfronde, y descomposición) y de las salidas de nutrientes del ecosistema (lixiviación, escorrentía, emisión de gases y aerosoles, transferencia por biota y explotación de recursos). Cada proceso es un precursor del anterior y el flujo de nutrientes sigue una serie de pasos interconectados. Las entradas y salidas del ecosistema constituyen el ciclo externo de nutrientes y los flujos entre las plantas y el suelo el ciclo interno. También se conoce el ciclo externo como el ciclo geoquímico, a la retranslocación como ciclo bioquímico y al resto de los flujos internos como ciclo biogeoquímicos. Además, para comprender el funcionamiento del ecosistema forestal hay que conocer los compartimientos conectados por estos flujos o procesos: biomasa aérea (fuste, corteza, ramas y hojas), suelo orgánico, raíces, suelo mineral y roca madre (Bosco *et al.*, 2004). En ecosistemas naturales o seminaturales, las entradas y las salidas de los nutrientes son una pequeña fracción de la cantidad de nutrientes que circula internamente, produciendo sistemas relativamente cerrados, con ciclos de nutrientes conservadores (Chapin *et al.*, 2002).





**Figura 1.** El ciclo interno de nutrientes en un bosque está formado principalmente por los flujos dentro de las plantas y los flujos entre la comunidad biótica y el suelo (Bosco *et al.*, 2004).

El aprovechamiento y manejo forestal altera los flujos y ciclos anteriormente descritos, aumentando considerablemente la pérdida de nutrientes del ecosistema y por tanto su fertilidad. Los estudios del ciclo externo de nutrientes proporcionan información sobre las pérdidas o ganancias netas de nutrientes en el ecosistema, pero para evaluar el impacto de una actividad forestal, también hace falta conocer los flujos internos dentro del ecosistema (Escudero *et al.*, 1992; Gallardo, 2001) y cómo afectan a las cantidades absolutas y relativas de nutrientes en los compartimentos internos. Debido a la importancia económica de la producción forestal, los estudios

de ciclos de nutrientes en bosques, motor de la producción primaria junto con el flujo de energía, son de vital importancia para el manejo sustentable de recursos (Roda *et al.*, 1999; Krebs, 2001). Es quizás por esta razón que los ciclos de nutrientes suelen tener los “precios más altos en valoraciones económicas” de los servicios de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997). Hoy en día muchos investigadores y gestores se preguntan si las prácticas silvícolas utilizadas reducen o no la fertilidad del suelo, y si las pérdidas en la fertilidad hacen disminuir la productividad.

Los ecosistemas forestales aseguran, principalmente, mediante el ciclo biogeoquímico sus necesidades en elementos nutritivos. Por ello, la exportación de bioelementos por el aprovechamiento forestal debe ser restituida en el curso de la nueva generación de árboles con objeto de que la productividad se mantenga a un mismo nivel (Lemee, 1982); por el contrario, en bosques naturales, sin acusada acción antropozoógena los elementos nutritivos se mantienen a un nivel adecuado, gracias a un equilibrio dinámico (el llamado ciclo biogeoquímico) (Duchaufour, 1983; citado por Santa Regina *et al.*, 1989). La circulación de nutrientes es uno de los aspectos claves en la dinámica de los ecosistemas terrestres y forman parte integrante en la evolución de los sistemas ecológicos, ya sean en condiciones naturales, o bien sometidos a perturbaciones artificiales (Santa Regina, 1989).

La caída de hojarasca es un mecanismo muy importante en el ciclo de nutrientes, que determina la renovación y entrada de materia orgánica al suelo (Campos *et al.*, 1998). La producción y la descomposición de la hojarasca son importantes en el ciclaje de nutrientes de los bosques (Jordan, 1982; Melillo y Aber, 1982; Vitousek, 1984; Sundarapandian y Swamy, 1999; Steubing *et al.*, 2001).

Barbosa y Fearnside (1996), determinaron la cantidad ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) de nutrientes en la hojarasca en un bosque tropical de meseta, obteniendo los siguientes valores: para N los valores fluctuaron de 34 a 158, para P de 2 a 7, para K de 13 a 59, mientras que para Ca de 17 a 114, y Mg de 7 hasta 26. En un bosque tropical de montaña, Liu *et al.* (2003), determinó la cantidad de nutrientes aportados ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) por la hojarasca observando valores de 25 a 90 para N, de 1 a 6 para P, de 5 a 59 para K, de 16 a 136 para Ca, y para Mg de 9 a 90.

Santa Regina y Gallardo (1989), estudiaron el retorno ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) efectivo de nutrientes en la hojarasca en tres ecosistemas (*Castanea sativa*, *Quercus pirenaica* y *Pinus sylvestris*) de España, observando los valores para los siguientes elementos: N de 9.0, 9.0 y 6.0; Ca de 6.0, 5.0 y 4.0; Mg de 2.0, 1.4 y 0.5; P de 2.0, 0.9 y 1.1; K de 11, 6.0 y 1.4; Mn de 0.12, 0.08 y 0.06; Fe de 0.045, 0.07 y 0.03; Cu de 0.031, .003 y 0.004; Zn de 0.26, 0.11 y 0.08, respectivamente.

Ramírez *et al.* (2007), estudiaron el retorno de nutrientes en bosque montano andino natural de roble (*Quercus humboldtii*.) y en plantaciones forestales de pino pátula (*Pinus patula Schltdl. y Cham.*), y ciprés (*Cupressus lusitánica Mill.*) en Piedras Blancas, Antioquia, Colombia, donde los valores ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) para N fueron, 85.9, 67.9 y 19.98; Ca 50.8, 31.8 y 38.27; Mg 10.0, 6.74 y 2.18; K 10.53, 5.58 y 2.91; P 2.62, 3.0 y 1.31; Cu 0.1, 0.1 y 0.04; Fe 0.70, 0.63 y 0.42; Mn 5.02, 1.92 y 0.28; Zn 0.26, 0.38 y 0.2, respectivamente.

González *et al.* (2006), cuantificaron la deposición potencial de nutrientes en tres sitios del Matorral Espino Tamaulipeco en el Noreste de México, obteniendo los siguientes resultados ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ): con respecto a macro-nutrientes el Ca fluctuó

de 2.3 a 305; K de 1.5 a 46 y Mg de 0.42 a 1.84. Para micro-nutrientes ( $\text{g ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ), el aporte de Cu varió de 3.4 a 36.7; Fe de 41.3 a 1,468; Mn de 6.28 a 241.7 y Zn de 28.2 a 540.

Del Valle-Arango (2003), determinó la cantidad de nutrientes reciclados en la hojarasca en un bosque pantanoso del pacífico sur Colombiano, observando que la concentración de nutrientes en la hojarasca de flores y frutos es mayor que en las hojarasca foliar y de ramas.

Gómez y Presto (1996), determinaron el ciclaje anual de nutrientes en un banco de proteína de *Gliricidia sepium* durante un año, en Colombia. Los resultados obtenidos ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) fueron; 51.4 en N, 1.8 en P, 18.9 en K, 70.5 en Ca y 18 en Mg.

Schlatter *et al.* (2006), evaluaron el flujo de nutrientes en la hojarasca en una plantación de *Eucalyptus nitens* en Chile, observando que en el mantillo se acumularon  $85 \text{ kg ha}^{-1}$  de N; 15 de P; 30 de K y 140-230 de Ca. Concluyendo que esta biomasa y nutrientes constituyen una reserva muy importante para el ecosistema y la sustentabilidad del cultivo.

Por lo tanto la presente investigación pretende llevar a cabo el estudio de la deposición de la hojarasca, así como su contribución de nutrimentos vía el componente hojas.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización y descripción de los sitios de estudio**

La ubicación de los sitios donde se llevó a cabo la presente investigación se ilustra en la Figura 2, los cuales representan un gradiente altitudinal que va de los 300 msnm hasta los 1,600 msnm. A continuación se da una descripción breve de las características físicas de cada sitio:

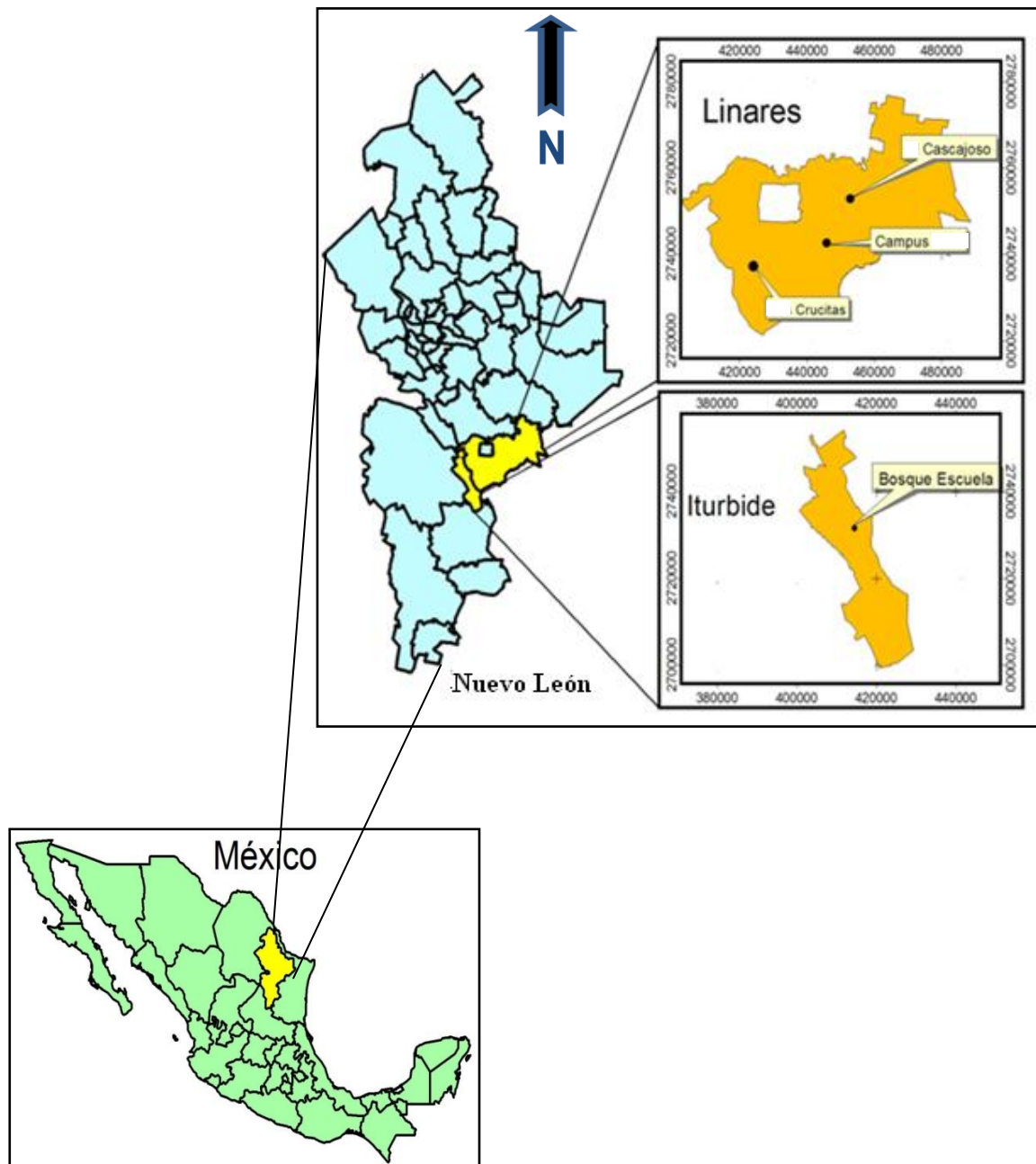
a) Sitio 1. Este sitio de estudio se ubicó en el Campus Ecológico “Bosque Escuela” de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en el municipio de Iturbide. La ubicación geográfica es 24°42'28" N; 99°51'43" O; con una altitud de 1600 msnm. La vegetación predominante se constituye de bosques mixtos de pino-encino con tipos de suelo Castañozem y Leptosoles. La temperatura media anual es de 14°C y una precipitación media anual de 635 mm (Bravo-Garza, 1999).

b) Sitio 2. Este sitio experimental se localiza en el ecotono o transición del bosque mixto de pino-encino y el matorral alto subinerme. Este sitio se ubicó en el ejido “Crucitas”, en el municipio de Linares. Su localización geográfica es 24°46'35" N; 99°41'44" O; a una altitud de 550 msnm. Los tipos de suelo que se pueden identificar corresponden a los Castañozem y Chernozem (SPP-INEGI, 1986). La temperatura y precipitación media anual es de 21°C y 755 mm, respectivamente (Bravo-Garza, 1999).

c) Sitio 3. Este sitio se estableció dentro del “Campus” Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Linares (24°46’43” N y 99°31’39” L; con una altitud de 370 msnm). La temperatura media varía entre 14°C en Enero a 22°C en Agosto. La precipitación anual promedio es de 805 mm. Los suelos más comunes que se pueden identificar son Vertisoles y el tipo de vegetación predominante es el Matorral Espinoso Tamaulipeco (SPP-INEGI, 1986).

d) Sitio 4; El área de estudio se ubicó en el ejido “Cascajoso”, ubicado a 20 km del municipio de Linares en las coordenadas 24°54’17” N y 99°25’43” O, a una altitud de 300 msnm. Este sitio presenta una temperatura promedio anual de 21°C, el mes más frío se presenta en Febrero con 12°C; con una precipitación media anual de 672 mm (Cavazos, 1992). Los tipos de suelos que se presentan en este sitio son Vertisoles Crómicos-Calcáricos, con una textura fina; Vertisol Pélico, ligeramente salino sódico; Regosol Calcárico, ligeramente fino (INEGI, 2001).

En la Figura A1 (Apéndice) se ilustra, mediante fotografía, una vista general de cada sitio de estudio.



**Figura 2.** Localización de los sitios de estudio.

### **3.2 Muestreo de la caída de hojarasca y frecuencia de recolección**

Con el fin de determinar la deposición de la hojarasca en cada sitio de estudio, se delimitó una parcela experimental con dimensiones de 50 m x 50 m en la cual se instalaron 10 (repeticiones) trampas o colectores de hojarasca de 1.0 m x 1.0 m consistentes de un marco de madera biselado de 10 cm de altura, cuyo fondo se cubrió con malla plástica fina (1.0 mm) con la finalidad de permitir la salida de agua de lluvia. Las trampas fueron colocadas a una altura de 50 cm sobre el suelo. El material depositado y recolectado fue llevado al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Forestales donde fue separado manualmente en cuatro componentes con la ayuda de una lupa. Los componentes fueron: hojas, estructuras reproductivas (flores, frutos y semillas), ramas (< 2.0 cm de diámetro) y otros (heces y cuerpos de insectos, corteza y otros materiales no identificados). La frecuencia con la que se realizó la recolección de hojarasca fue a intervalos de 15 días, iniciando el periodo experimental con la colocación de los colectores el 21 de Diciembre del 2006 y concluyendo el 20 de Diciembre del 2007. Los colectores se colocaron al azar dentro de cada parcela delimitada en cada sitio y estos permanecieron en el mismo punto durante el periodo de estudio.

### **3.3 Preparación de muestras**

Tan pronto los componentes de la hojarasca fueron separados por repetición, muestreo y sitio de estudio, éstos fueron secados a 65°C durante 72 horas, hasta obtener peso constante en una estufa de aire forzado, para posteriormente,



determinar el peso seco ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) depositado por componente o total. A través de la sumatoria de todos los muestreos realizados, por repetición y sitio de estudio, se determinó la deposición anual por componente y total ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Los pesos secos de cada muestra de la hojarasca fueron determinados con el uso de una balanza digital (Marca Sartorius, Modelo C1), con resolución de milésimas de gramo.

### **3.4 Determinación de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas**

Dado que el mayor y principal constituyen de la hojarasca es el componente hojas y en éste se realiza la mayoría de los procesos fisiológicos, específicamente la fotosíntesis, además que diversas investigaciones (Del Valle-Arango, 2003; Vasconcelos y Luizão, 2004; González *et al.*, 2008) coinciden en que el mayor aporte anual de nutrientes por la hojarasca es reciclado principalmente por las hojas, es por ello que en la presente investigación, se procedió a la determinación de macro- y micro-nutrientes en este componente. La cuantificación de los contenidos de nutrientes, por sitio de estudio, se realizó en cinco repeticiones de las muestras de hojas correspondientes a las fechas de muestreo siguientes: 19-Enero, 18-Febrero, 20-Marzo, 19-Abril, 19-Mayo, 20-Julio, 20-Agosto, 20-Septiembre, 20-Octubre, 20-Noviembre y 20-Diciembre del 2007. Las razones que sustentan el haber tomado cinco repeticiones por sitio y fecha de colecta fueron con el fin de reducir los costos técnicos y operativos del proceso, capacidad de trabajo y de materiales a utilizar durante la determinación, pero sin desmerecer la calidad y precisión en los análisis estadísticos de los datos y conclusiones a derivar.

Una vez que las muestras de hojas fueron secadas, se procesaron en un molino Thomas Willey (Thomas Scientific Apparatus, Modelo 3383) usando una malla No. 60 (1 mm x 1 mm). El material molido fue recolectado en un frasco previamente etiquetado.

La preparación de extractos para determinar macro- (Ca, K, Mg y P) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas se realizó de acuerdo a las técnicas analíticas de digestión descritas en AOAC (1990) y consiste en lo siguiente: el material previamente molido y etiquetado se colocó en la estufa para ser secado a 65°C durante 24 h. Posteriormente, se retiró el material de la estufa y se colocó en un desecador para ser enfriado. Después se pesaron 2.0 g de muestra y se colocaron en crisoles previamente etiquetados para su incineración en la mufla a 550°C por un lapso de 5 h. Una vez obtenidas las cenizas, se dejaron enfriar por aproximadamente 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, las cenizas fueron vertidas a un vaso de precipitado de 50 mL, lavando el crisol con 20 mL de agua destilada en pequeñas porciones. Enseguida, se agregaron 5 mL de HCl concentrado y 10 gotas de HNO<sub>3</sub> concentrado al vaso. Una vez transcurrido este paso, se colocó el vaso en una parrilla de calentamiento a 100°C hasta reducir a un volumen de 10 mL. A continuación se le agregan 10 mL de agua destilada y se colocan el vaso nuevamente en la parrilla de calentamiento por 2 ó 3 minutos. Posteriormente, se retira el vaso de la parrilla y se deja a que la muestra llegue a temperatura ambiente, filtrándose el extracto usando papel filtro Watham No. 40 en un matraz volumétrico de 50 mL, el cual fue aforado con agua destilada. Una vez concluido este procedimiento, las muestras se conservaron en refrigeración a 4°C hasta que se realizaron los análisis cuantitativos de cada nutriente. Para determinar

el contenido de cada elemento se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Marca Varian, Modelo SpectrAA-200). Partiendo de estándares comerciales de cada elemento, se obtuvo una curva estándar para cuantificar el contenido de dicho elemento en la solución de cada extracto. Para el caso de los estándares de Ca y Mg se añadió K a una concentración final de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$  de solución para contrarrestar el efecto ionizante. Con la misma finalidad se añadió Cs a una concentración de  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$  a los estándares de K. Ambos supresores de la ionización también fueron añadidos a las muestras a la misma concentración.

Los resultados de los contenidos de nutrimentos para macro son expresados en  $\text{mg g}^{-1}$  peso seco (ps), mientras que para micro en términos de  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps. En el Cuadro 1 se ilustran los parámetros optimizados del Espectrofotómetro que se emplearon para cuantificar cada elemento.

**Cuadro 1.** Parámetros optimizados del espectrofotómetro de absorción atómica que se emplearon para determinar la concentración de macro- y micro-nutrimentos en el componente hojas.

Nutrimento	Longitud	Corriente	Ancho	Flujo ( $\text{L min}^{-1}$ )		
	de onda (nm)	de lámpara <sup>1</sup> (mA)	de ranura (nm)	Combustible <sup>2</sup>	Oxidante <sup>3</sup>	Estequiometría de la flama
Ca	422.7	10.0	0.5	6.3	11.0	Reductora
K	766.5	5.0	1.0	2.0	13.5	Oxidante
Mg	285.2	4.0	0.5	2.0	13.5	Oxidante
Cu	327.4	4.0	0.2	2.0	13.5	Oxidante
Fe	372.0	5.0	0.2	2.0	13.5	Oxidante
Mn	403.1	5.0	2.0	2.0	13.5	Oxidante
Zn	213.9	5.0	2.0	2.0	13.5	Oxidante

<sup>1</sup>Lámpara de cátodo hueco. <sup>2</sup>Acetileno (grado absorción atómica, AA). <sup>3</sup>Oxido nitroso (Ca) y aire (K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn).

La determinación de Fosforo (P) se realizó por el método de colorimetría (AOAC, 1990) utilizando un Espectrofotómetro de rayos Ultravioleta-Visible (Marca Cecil, Modelo CE 2002). El contenido de P en los extractos de las muestras fue estimado a partir de una curva estándar preparada con diferentes concentraciones de P.

#### **3.4.1 Determinación de nitrógeno**

Para el análisis de nitrógeno (N), se pesaron 0.5 g de muestra del material vegetal previamente seco y molido correspondiente a cada repetición, muestreo y sitio. Los procedimientos analíticos para determinar y estimar el N fueron de acuerdo al protocolo descrito por Woerner (1989). El contenido de N en la muestra de hojas es expresado en  $\text{mg g}^{-1}$  peso seco.

#### **3.5 Caracterización física y química del suelo en el sitio de estudio**

Con el fin de caracterizar algunas propiedades físicas y químicas del suelo, durante el periodo de estudio, se realizaron cuatro muestreos (11 de Febrero, 4 de Mayo, 20 de Agosto y 5 de Noviembre del 2007) a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm). El muestro de suelos se efectuó por triplicado y al azar dentro de cada sitio.

Para la determinación de densidad aparente (DA;  $\text{Mg m}^{-3}$ ) se extrajo, mediante cilindros metálicos de  $98.17 \text{ cm}^3$ , suelo a dos profundidades (0-20 cm y 20-40 cm), en las tres paredes intactas del sitio donde se obtuvo la muestra de suelo. Las

muestras se pesaron para registrar su peso húmedo para posteriormente colocarlas en una estufa de secado a 105°C durante 72 horas hasta alcanzar peso constante, para luego registrar su peso seco y realizar los cálculos pertinentes (Blake y Hartge, 1986).

Para el resto de los análisis físicos y químicos, las muestras de suelo se colocaron en bolsas de polietileno previamente etiquetadas y estas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos y Nutrición Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Una vez que las muestras fueron secadas al aire, se procedió a su molienda con mazo de madera y su tamizado a 2 mm. El suelo fino extraído fue utilizado para las determinaciones de pH, conductividad eléctrica (CE;  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), materia orgánica (MO; %), nitrógeno total (N; %), contenido de macro-nutrientes (Ca, K, Mg y P;  $\text{mg kg}^{-1}$  suelo) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn;  $\text{mg kg}^{-1}$  suelo). Los análisis se realizaron de acuerdo al manual de suelos descrito por Woerner (1989). Los métodos utilizados para la determinación de las propiedades físicas y químicas quedan sintetizados en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos de la caracterización físico-química del suelo por sitio de estudio, fecha de muestreo y profundidad se muestran en el Cuadro 3 y Cuadro 4, respectivamente. Las clases texturales determinadas para la profundidad 0-20 cm, para los sitios Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fueron Franco Arcilloso Limoso, Arcilloso Limoso, Franco Limoso y Franco Limoso, respectivamente, mientras que para la profundidad 20-40 cm, la clase textural fue Franco Limoso, Arcilloso, Franco Arcillo Limoso y Arcillo Limoso, respectivamente.

**Cuadro 2.** Métodos empleados para determinar las propiedades físico-químicas del suelo.

Determinación	Método
Densidad aparente	Método del cilindro (Blake y Hartge, 1986)
Análisis granulométrico	Método del hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986)
pH (reacción del suelo)	Potenciómetro en suspensión de suelo - $\text{CaCl}_2$ 0.01 M relación 1:2.5 (Woerner, 1989)
Conductividad eléctrica	Celda de conductividad en suspensión suelo-agua 1:5 (Woerner, 1989)
Materia orgánica	Método de combustión húmeda según Walkley-Black (Woerner, 1989)
Nitrógeno total	Método semi-micro de Kjeldahl (Woerner, 1989)
Micro-nutrientes	Extracción de Fe, Mn, Zn y Cu con DTPA-TEA- $\text{CaCl}_2$ y determinación mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (Woerner, 1989)
Macro-nutrientes	Extracción de K, Mg y Ca con acetato de amonio pH 7.0 y determinación mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (Woerner, 1989)
Fósforo disponible	Determinación de $\text{P}_i$ mediante tiras impregnadas de hidróxido de hierro y estimado por colorimetría (Menon, 1989)

**Cuadro 3.** Algunas propiedades físicas y químicas del suelo realizadas a la profundidad de 0-20 cm en cuatro fechas del año 2007 para los cuatro sitios de estudio.

Fecha	Sitio	Propiedad													
		DA	pH	CE	MO	C	N	Ca	K	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
		(Mg m <sup>-3</sup> )		(μS cm <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> suelo)							
11-Feb	Bosque Escuela	0.91	6.60	255.45	6.80	3.94	0.30	8839.09	297.37	150.35	631.61	1.30	2.35	15.95	32.07
	Crucitas	1.20	6.80	102.30	4.82	2.79	0.35	5063.50	307.72	310.36	1278.73	1.23	3.23	9.24	80.93
	Campus	0.77	6.60	216.33	8.22	4.77	0.56	8555.65	109.52	216.01	1158.59	0.44	1.87	4.52	12.99
	Cascajoso	1.19	7.10	123.13	3.22	1.87	0.19	8000.27	134.77	98.53	648.60	0.47	0.33	3.05	9.85
4-May	Bosque Escuela	0.87	6.64	131.70	7.86	4.56	0.30	6604.98	217.35	198.68	558.36	1.18	1.72	10.64	21.87
	Crucitas	0.97	7.05	40.30	4.35	2.52	0.25	4089.26	272.61	321.36	76.31	1.26	3.34	14.61	109.50
	Campus	0.95	6.44	104.87	7.27	4.22	0.47	8602.55	414.03	382.53	387.50	0.36	1.17	3.18	13.02
	Cascajoso	1.30	6.98	75.43	2.20	1.28	0.16	8650.81	183.62	113.91	83.74	0.54	0.44	2.14	16.38
20-Ago	Bosque Escuela	0.75	6.92	116.17	6.36	3.69	0.27	8870.48	312.37	184.11	757.68	1.11	1.67	9.83	19.00
	Crucitas	0.88	6.73	104.90	6.95	4.03	0.31	5887.72	216.77	349.05	542.34	1.08	3.04	10.92	92.03
	Campus	1.03	6.89	112.37	5.29	3.07	0.27	7787.81	159.98	218.23	510.67	0.30	1.13	2.58	9.49
	Cascajoso	1.40	7.45	105.40	1.97	1.14	0.17	8226.79	182.02	84.57	239.91	0.53	0.52	1.50	12.03
5-Nov	Bosque Escuela	1.24	7.20	119.33	5.57	3.23	0.28	9594.51	356.91	190.14	181.53	1.16	1.44	10.67	13.36
	Crucitas	1.12	7.20	141.93	7.66	4.45	0.49	5408.82	465.20	244.52	249.47	1.25	4.41	14.48	100.18
	Campus	0.98	7.08	80.47	6.36	3.69	0.43	6981.93	168.57	267.23	318.12	0.33	1.25	4.07	6.89
	Cascajoso	1.47	7.45	133.23	2.79	1.62	0.17	8075.33	95.52	78.35	420.75	0.48	0.30	3.72	9.24

**Cuadro 4.** Algunas propiedades físicas y químicas del suelo realizadas a la profundidad de 20-40 cm en cuatro fechas del año 2007 para los cuatro sitios de estudio.

Fecha	Sitio	Propiedad													
		DA	pH	CE	MO	C	N	Ca	K	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
		(Mg m <sup>-3</sup> )		(μS cm <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(%)	(mg kg <sup>-1</sup> suelo)							
11-Feb	Bosque Escuela	1.22	6.88	188.30	4.28	2.48	0.19	10537.57	172.91	83.95	579.15	1.29	1.03	9.14	16.43
	Crucitas	1.25	6.38	61.93	4.08	2.37	0.23	3975.99	130.63	230.10	510.61	1.30	1.51	8.94	94.27
	Campus	1.01	6.90	146.20	3.74	2.17	0.21	8427.65	95.61	181.33	538.71	0.23	0.62	2.70	12.13
	Cascajoso	1.11	7.22	132.85	2.74	1.59	0.16	8397.52	33.79	106.26	661.69	0.48	0.31	3.16	14.46
4-May	Bosque Escuela	1.30	6.75	84.57	3.73	2.17	0.16	7759.48	180.35	104.15	822.41	1.14	0.59	7.10	9.20
	Crucitas	0.82	6.98	37.37	2.54	1.47	0.16	3987.55	46.13	264.33	54.08	0.85	0.84	6.51	57.87
	Campus	0.98	6.83	100.03	3.40	1.97	0.27	8414.50	126.28	212.45	113.65	0.30	0.45	3.08	18.68
	Cascajoso	1.19	6.90	74.50	2.20	1.28	0.15	8855.33	45.36	66.12	238.16	0.57	0.22	2.51	24.14
20-Ago	Bosque Escuela	0.85	7.07	118.90	3.17	1.84	0.16	9031.57	199.06	77.90	223.86	1.08	0.51	6.77	7.52
	Crucitas	1.14	6.92	71.20	2.88	1.67	0.23	4106.73	65.73	223.88	84.62	0.76	0.79	5.33	49.00
	Campus	1.17	7.16	99.90	3.89	2.25	0.17	8561.32	53.09	119.01	333.08	0.27	0.46	1.88	16.48
	Cascajoso	1.27	7.52	144.90	2.04	1.18	0.14	9321.94	81.66	49.06	574.43	0.54	0.31	1.77	20.39
5-Nov	Bosque Escuela	1.03	7.23	110.37	3.60	2.09	0.17	10195.21	211.62	60.65	113.93	1.24	0.49	6.67	6.39
	Crucitas	1.03	7.12	58.30	3.58	2.08	0.21	3706.77	120.34	226.27	147.56	1.09	0.63	6.34	55.14
	Campus	1.12	7.25	120.30	3.40	1.97	0.23	11005.27	49.96	104.03	181.18	0.27	0.32	3.42	10.63
	Cascajoso	1.21	7.35	98.97	2.38	1.38	0.15	8692.57	28.13	40.23	114.27	0.49	0.27	2.78	11.91



### **3.6 Caracterización de la vegetación en el sitio de estudio**

En la parcela de cada sitio de estudio, se realizó una caracterización de la vegetación natural cuyos resultados se ilustran en el Cuadro 5. En los Cuadros 6 al 9, se muestran algunas propiedades cuantitativas de las especies encontradas en cada sitio. El muestreo de la vegetación se realizó en la parcela de cada sitio, en el cual a todos los individuos de cada especie se les determinó parámetros dasométricos tales como altura (m) y cobertura ( $m^2$ ) de copas; este último se estimó tomando la longitud del largo (norte-sur) por ancho (oriente poniente) de cada copa de cada individuo y especie, con el fin de conocer la cobertura parcial y total de las especies presentes por sitio de estudio. Una vez obtenidos estos datos, se calculó el índice de diversidad de especies de Shannon–Wiener (Magurran, 1988). El índice de diversidad determinado para el Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fue de 2.10, 2.73, 2.50 y 2.50, respectivamente. Estos valores son similares a los observados por Uvalle (2008), en un estudio realizado en el noreste de México. En lo que se refiere al número de familias encontradas para el sitio Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fue de 9, 15, 15 y 14, respectivamente.

**Cuadro 5.** Hábitos de crecimiento de las especies vegetales identificadas en los cuatro sitios de estudio.

No.	Familia	Especie vegetal	Hábito de crecimiento
1	Anacardiaceae	<i>Rhus pachyrachis</i>	Arbórea
2	Berberidaceae	<i>Berberis chochoco</i>	Arbórea
3	Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i>	Arbustiva
4	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Arbustiva
5		<i>Opuntia leptocaulis</i>	Arbustiva
6	Cupressaceae	<i>Cupressus arizonica</i>	Arbórea
7		<i>Juniperus deppeana</i>	Arbórea
8		<i>Juniperus flacida</i>	Arbórea
9	Ebanaceae	<i>Dyospiros texana</i>	Arbórea
10	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i>	Arbustiva
11	Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i>	Arbustiva
12		<i>Croton ciliaton-glandulifer</i>	Arbustiva
13		<i>Croton torreyanus</i>	Arbustiva
14	Fabaceae	<i>Acacia berlandieri</i>	Arbustiva
15		<i>Acacia farnesiana</i>	Arbustiva
16		<i>Acacia rigidula</i>	Arbustiva
17		<i>Caesalpinia mexicana</i>	Arbustiva
18		<i>Cercidium macrum</i>	Arbustiva
19		<i>Cercis canadensis</i>	Arbórea
20		<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Arbustiva
21		<i>Ebenopsis ebano</i>	Arbórea
22		<i>Havardia pallens</i>	Arbórea
23		<i>Mimosa malacophylla</i>	Arbustiva
24	Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i>	Arbórea
25		<i>Quercus glaucoides</i>	Arbórea
26		<i>Quercus laceyi</i>	Arbórea
27		<i>Quercus virginiana</i>	Arbórea
28	Flacourtiaceae	<i>Xylosma flexuosum</i>	Arbustiva
29	Lauraceae	<i>Litsea pringlei</i>	Arbustiva
30	Liliaceae	<i>Yucca filifera</i>	Arbórea
31	Mimosaceae	<i>Prosopis laevigata</i>	Arbórea
32	Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i>	Arbustiva
33		<i>Fraxinus cupirata</i>	Arbórea
34		<i>Fraxinus greggii</i>	Arbórea
35	Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Arbórea
36	Rhamnaceae	<i>Condalia hookeri</i>	Arbustiva
37		<i>Karwinskia humlboltiana</i>	Arbustiva

**Cuadro 5. Continuación**

No.	Familia	Especie vegetal	Hábito de crecimiento
38	Rubiaceae	<i>Randia ragocarpa</i>	Arbustiva
39		<i>Amyris texana</i>	Arbustiva
40	Rutaceae	<i>Helietta parvifolia</i>	Arbustiva
41		<i>Sargentea greggii</i>	Arbustiva
44		<i>Zantoxylum fagara</i>	Arbustiva
45	Salicaceae	<i>Neoprintlea integrifolia</i>	Árborea
46	Sapotaceae	<i>Bumelia lanuginosa</i>	Árborea
47	Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Árborea
48	Simaroubaceae	<i>Castela texana</i>	Árborea
49	Stangeriaceae	<i>Dioon edule</i>	Arbustiva
50	Turneraceae	<i>Turnera difusa</i>	Arbustiva
51	Ulmaceae	<i>Celtis pallida</i>	Arbustiva
52	Verbenaceae	<i>Citharexylum berlandieri</i>	Arbustiva
53		<i>Lantana macropoda</i>	Arbustiva
54	Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i>	Arbustiva

**Cuadro 6.** Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Bosque Escuela.

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín.	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín.	Máx.	Mediana	Media
<i>Acacia farnesiana</i>	13	3.38	0.10	2.84	0.50	0.77	10.06	0.80	4.10	2.11	2.11
<i>Arbutus xalapensis</i>	11	2.86	0.10	4.26	0.63	1.37	15.12	0.80	3.50	1.70	1.94
<i>Cercis canadensis</i>	33	8.57	0.10	4.91	1.22	1.29	42.62	1.20	6.50	3.10	3.10
<i>Croton torreyanus</i>	12	3.12	0.01	2.41	0.04	0.26	3.21	0.38	3.80	0.65	0.88
<i>Cupressus arizonica</i>	25	6.49	0.24	10.18	1.32	2.71	67.77	0.70	9.00	2.15	2.81
<i>Juniperus deppeana</i>	30	7.79	0.10	23.33	2.76	4.75	142.57	1.00	8.30	4.30	4.41
<i>Juniperus flácida</i>	1	0.26	6.60	6.60	6.60	6.60	6.61	5.60	5.60	5.60	5.60
<i>Litsea pringlei</i>	3	0.78	0.24	0.79	0.78	0.60	1.81	2.10	2.30	2.20	2.20
<i>Opuntia engelmannii</i>	2	0.52	0.13	0.28	0.20	0.20	0.41	0.60	0.70	0.65	0.65
<i>Pinus pseudostrobus</i>	62	16.10	0.04	176.72	1.08	14.45	896.13	0.45	21.00	2.70	5.62
<i>Quercus canbyi</i>	122	31.69	0.03	6.95	1.32	1.64	200.33	0.40	6.00	3.10	2.96
<i>Quercus glaucoides</i>	33	8.57	0.01	1.48	0.33	0.51	17.09	0.50	40.00	1.10	1.21
<i>Quercus laceyi</i>	1	0.26	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.00	3.00	3.00	3.00
<i>Rhus pachyrachis</i>	37	9.61	0.01	7.31	1.65	2.08	77.01	1.25	6.50	2.35	2.57
Total	385	100.00					1,484.37				

**Cuadro 7.** Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Crucitas.

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín.	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín.	Máx.	Mediana	Media
<i>Acacia farnesiana</i>	2	0.64	7.31	32.17	19.74	19.74	39.48	5.20	8.80	7.00	7.00
<i>Acacia rigidula</i>	1	0.32	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	1.90	1.90	1.90	1.90
<i>Amyris texana</i>	2	0.64	1.13	1.76	1.44	1.44	2.89	2.00	3.00	2.50	2.50
<i>Berberis chochoco</i>	1	0.32	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1.35	1.35	1.35	1.35
<i>Bernadia myricaefolia</i>	1	0.32	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	4.00	4.00	4.00	4.00
<i>Bumelia lanuginosa</i>	19	6.09	0.12	2.26	0.70	0.99	18.89	0.95	4.20	2.10	2.17
<i>Caesalpinia mexicana</i>	9	2.88	0.63	10.46	2.83	3.61	32.54	2.20	6.20	4.60	4.73
<i>Celtis pallida</i>	6	1.92	1.76	16.61	4.82	6.19	37.18	2.50	6.30	3.75	3.98
<i>Condalia hookeri</i>	9	2.88	0.38	6.37	2.40	3.32	29.95	1.95	4.50	3.50	3.30
<i>Cordia boissieri</i>	40	12.82	0.33	18.47	2.34	3.55	142.16	1.50	5.40	3.00	2.99
<i>Croton ciliato-gladulifer</i>	12	3.85	0.10	1.13	0.24	0.36	4.33	0.54	9.00	1.00	1.75
<i>Dioon edule</i>	1	0.32	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Dyospiros texana</i>	16	5.13	1.23	23.76	2.37	5.31	85.00	1.70	8.00	4.80	4.27
<i>Ebenopsis ebano</i>	3	0.96	2.01	22.48	9.76	11.42	34.25	4.60	5.90	5.80	5.43
<i>Eysenhartia polystachia</i>	2	0.64	1.13	2.78	1.39	1.39	2.78	3.60	4.00	3.80	3.80
<i>Forestiera angustifolia</i>	12	3.85	0.16	6.83	2.11	2.34	28.10	1.00	7.00	2.28	2.67
<i>Fraxinus greggii</i>	3	0.96	3.46	24.19	18.10	15.25	45.75	2.80	6.60	6.30	5.23
<i>Fraxinus cupirata</i>	2	0.64	14.52	35.78	25.15	25.15	50.31	5.00	6.30	5.65	5.65
<i>Havardia pallens</i>	46	14.74	0.13	19.64	3.22	4.30	19.64	2.20	8.20	5.20	5.19
<i>Helietta parvifolia</i>	5	1.60	0.64	1.05	0.79	0.83	4.14	1.10	2.00	1.85	1.74

**Cuadro 7. Continuación**

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín.	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín.	Máx.	Mediana	Media
<i>Karwinskia humboltiana</i>	4	1.28	0.44	3.98	1.76	1.76	7.03	2.00	2.60	2.25	2.28
<i>Lantana macropoda</i>	1	0.32	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.90	0.90	0.90	0.90
<i>Neopringlea integrifolia</i>	3	0.9	0.28	1.23	0.64	0.72	2.15	1.20	2.15	1.65	1.67
<i>Quercus virginiana</i>	10	3.21	2.99	105.68	51.23	55.14	551.45	6.20	14.00	10.35	10.37
<i>Randia ragocarpa</i>	31	9.94	0.20	5.94	1.23	1.54	47.78	1.00	4.70	2.30	2.33
<i>Sargentea greggii</i>	50	16.03	0.20	28.27	4.07	6.43	321.72	1.30	9.00	4.20	4.60
<i>Xylosma flexuosum</i>	6	1.92	0.57	3.63	1.38	1.62	9.72	1.22	2.40	1.83	1.86
<i>Zantoxylum fagara</i>	15	4.81	0.98	14.86	3.46	4.44	66.67	2.80	7.50	4.20	4.50
Total	312	100.00					1,771.21				

**Cuadro 8.** Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Campus.

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín.	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín.	Máx.	Mediana	Media
<i>Acacia berlandieri</i>	1	0.30	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.90	2.90	2.90	2.90
<i>Acacia rigidula</i>	33	9.82	0.13	16.62	2.69	3.26	107.48	1.40	6.00	3.10	3.28
<i>Amyris texana</i>	2	0.60	1.54	1.65	1.60	1.60	3.19	1.90	2.50	2.20	2.20
<i>Bernardia myricaefolia</i>	70	20.83	0.24	33.18	1.80	2.40	168.06	1.30	4.00	2.05	2.09
<i>Bumelia lanuginosa</i>	15	4.46	0.20	14.19	2.41	4.39	65.84	2.10	6.20	5.00	4.47
<i>Castela texana</i>	1	0.30	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	1.80	1.80	1.80	1.80
<i>Celtis pallida</i>	20	5.95	0.13	11.64	4.15	4.91	98.23	1.55	6.20	3.80	3.86
<i>Cercidium macrum</i>	1	0.30	9.62	9.62	9.62	9.62	9.62	6.70	6.70	6.70	6.70
<i>Citharexylum berlandieri</i>	2	0.60	0.79	3.14	1.96	1.96	3.93	2.20	5.80	4.00	4.00
<i>Condalia hookeri</i>	12	3.57	1.23	12.25	4.06	4.49	53.82	2.80	6.20	4.15	4.40
<i>Cordia boissieri</i>	19	5.65	0.44	17.17	8.30	7.80	148.23	2.20	6.30	4.10	4.18
<i>Dyospiros texana</i>	19	5.65	1.23	15.55	3.98	5.56	105.69	2.70	6.80	5.00	4.74
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	20	5.95	0.24	12.41	1.95	2.90	57.96	3.10	10.00	5.00	5.48
<i>Forestiera angustifolia</i>	45	13.39	10.46	0.50	2.69	3.35	150.80	1.20	4.15	2.20	2.36
<i>Havardia pallens</i>	29	8.63	0.87	18.86	4.71	6.09	176.68	2.00	8.00	5.70	5.13
<i>Helietta parvifolia</i>	1	0.30	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	1.50	1.50	1.50	1.50
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	1	0.30	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.30	2.30	2.30	2.30
<i>Leucophyllum frutescens</i>	9	0.68	0.44	3.38	1.71	1.95	17.56	1.60	2.70	2.20	2.19
<i>Neopringlea integrifolia</i>	1	0.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	2.30	2.30	2.30	2.30

**Cuadro 8. Continuación**

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín	Máx	Mediana	Media
<i>Porlieria angustifolia</i>	2	0.60	0.24	2.14	1.19	1.19	2.38	1.10	2.00	1.55	1.55
<i>Randia ragocarpa</i>	3	0.89	0.64	2.20	0.79	1.21	3.63	1.50	2.90	2.60	2.33
<i>Zanthoxylum fagara</i>	30	8.93	1.38	12.88	4.35	5.62	168.70	2.00	6.20	4.60	4.45
Total	336	100.00					1,352.70				

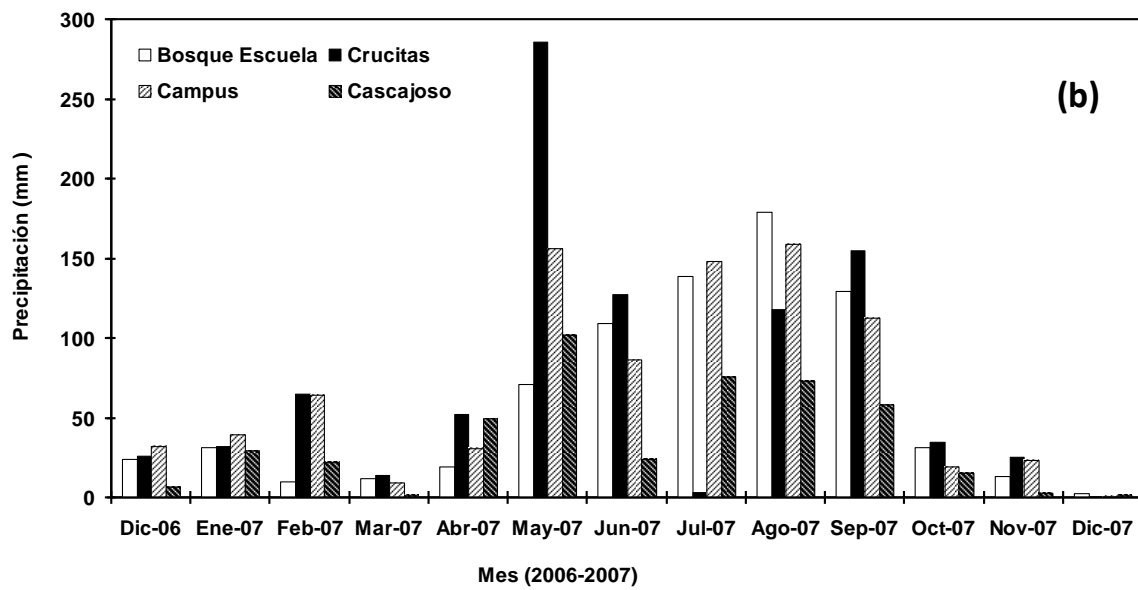
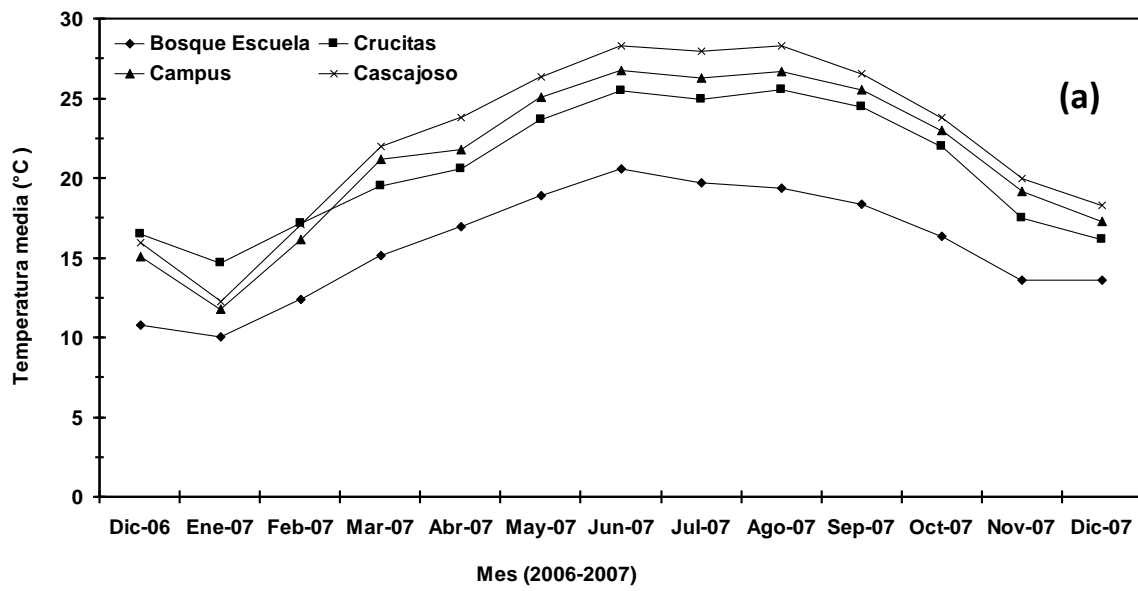


**Cuadro 9.** Algunas características biológicas de la vegetación presente en el sitio Cascajoso.

Especie vegetal	Individuos	Frecuencia (%)	Cobertura (m <sup>2</sup> )					Altura (m)			
			Mín.	Máx.	Mediana	Media	Total	Mín.	Máx.	Mediana	Media
<i>Acacia farnesiana</i>	5	1.48	0.87	9.90	1.23	3.49	17.47	0.90	3.98	1.50	2.02
<i>Acacia rigidula</i>	26	7.69	0.16	6.16	1.65	2.26	58.83	0.70	3.00	1.90	1.85
<i>Celtis pallida</i>	11	3.25	0.05	3.63	3.14	2.45	26.93	1.30	2.80	2.40	2.32
<i>Cercidium macrum</i>	1	0.30	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	3.00	3.00	3.00	3.00
<i>Cordia boissieri</i>	39	11.54	0.38	31.67	4.71	5.76	224.50	1.30	3.80	2.40	2.34
<i>Croton ciliatton-glandulifer</i>	12	3.55	0.13	1.43	0.24	0.44	5.28	0.40	1.00	0.75	0.73
<i>Forestiera angustifolia</i>	64	18.93	0.13	15.14	1.49	2.17	138.87	0.70	2.90	1.50	1.52
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	39	11.54	0.05	2.69	0.64	0.91	35.33	0.60	2.10	1.20	1.18
<i>Leucophyllum frutescens</i>	13	3.85	0.10	1.77	0.20	0.44	5.72	0.40	1.65	0.80	0.90
<i>Mimosa malacophylla</i>	2	0.59	0.95	1.65	1.30	1.30	2.60	0.70	1.80	1.25	1.25
<i>Opuntia engelmannii</i>	16	4.73	0.28	5.52	2.07	2.11	33.83	1.90	0.80	1.55	1.39
<i>Opuntia leptocaulis</i>	36	10.65	0.16	4.52	0.67	0.81	29.08	0.50	1.40	0.75	0.81
<i>Porlieria angustifolia</i>	4	1.18	0.24	3.14	1.14	1.41	5.65	0.80	3.00	2.45	2.18
<i>Prosopis laevigata</i>	7	2.07	0.95	6.61	2.99	3.77	26.39	1.50	3.00	2.20	2.23
<i>Randia ragocarpa</i>	26	7.69	0.10	1.65	0.39	0.61	15.89	0.50	1.40	0.80	0.83
<i>Turnera difusa</i>	29	8.58	0.14	3.14	1.04	1.18	34.12	0.60	1.50	1.00	1.04
<i>Yucca filifera</i>	5	1.48	0.28	6.38	2.69	3.17	15.86	1.60	8.00	5.20	4.64
<i>Zanthoxylum fagara</i>	3	0.89	0.16	2.84	1.13	1.38	4.13	0.70	2.70	2.20	1.87
Total	338	100.00					687.54				

### **3.7 Variables ambientales**

En cada sitio de estudio se instalaron sensores automatizados tipo HOBO (Familia H8, Forestry Suppliers, Inc.) para registrar variables ambientales tales como temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%), usando el sensor HOBO Pro Series Onset RH Temp. Estos sensores fueron programados de tal manera que los datos fueran registrados cada hora. La cantidad diaria de precipitación pluvial (mm) fue cuantificada en cada sitio de estudio usando un pluviómetro automatizado marca Davis, conectado a un registrador HOBO Event Onset. La temperatura media mensual y precipitación mensual registrada durante el periodo de estudio se ilustran en la Figura 3.



**Figura 3.** Temperatura media mensual (a) y precipitación mensual (b) registrada en cada sitio de estudio.

### 3.8 Análisis estadístico

Los datos de la deposición de cada componente de la hojarasca por fecha y sitio de muestreo y la acumulada (anual) así como también, los datos del contenido de nutrimentos en el componente hojas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo al diseño experimental con un criterio de clasificación (Steel y Torrie, 1980). Los resultados del ANDEVA no presentaron homogeneidad de varianzas para hojarasca (Cuadros A1 y A2) y contenido de nutrimentos (Cuadros A3 y A4) de acuerdo a las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk y Levene (Brown y Forsythe, 1974) y los datos no mostraron una distribución normal aún cuando fueron logarítmicamente transformados, estos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Ott, 1993) para detectar diferencias estadísticas entre los sitios para cada componente de la hojarasca y contenido de nutrimentos por fecha de muestreo. Para encontrar diferencias en la deposición de cada componente de la hojarasca y contenido de nutrimentos en el componentes hojas entre los sitios estudiados, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U aplicando el método de corrección de Bonferroni (Wackerly *et al.*, 2002), con un nivel de significancia de  $P=.05$ . Teniendo un valor crítico de  $P<.0041$  para declarar diferencia significativa entre los sitios para la variable respuesta. Para evaluar la asociación entre la deposición de los componentes de la hojarasca y variables ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitación), los datos correspondientes a cada sitio de estudio se sometieron al análisis de correlación de Spearman (Ott, 1993). Los procedimientos estadísticos aplicados fueron realizados de acuerdo al Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (por sus siglas en inglés, SPSS) versión estándar 13.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Producción de hojarasca

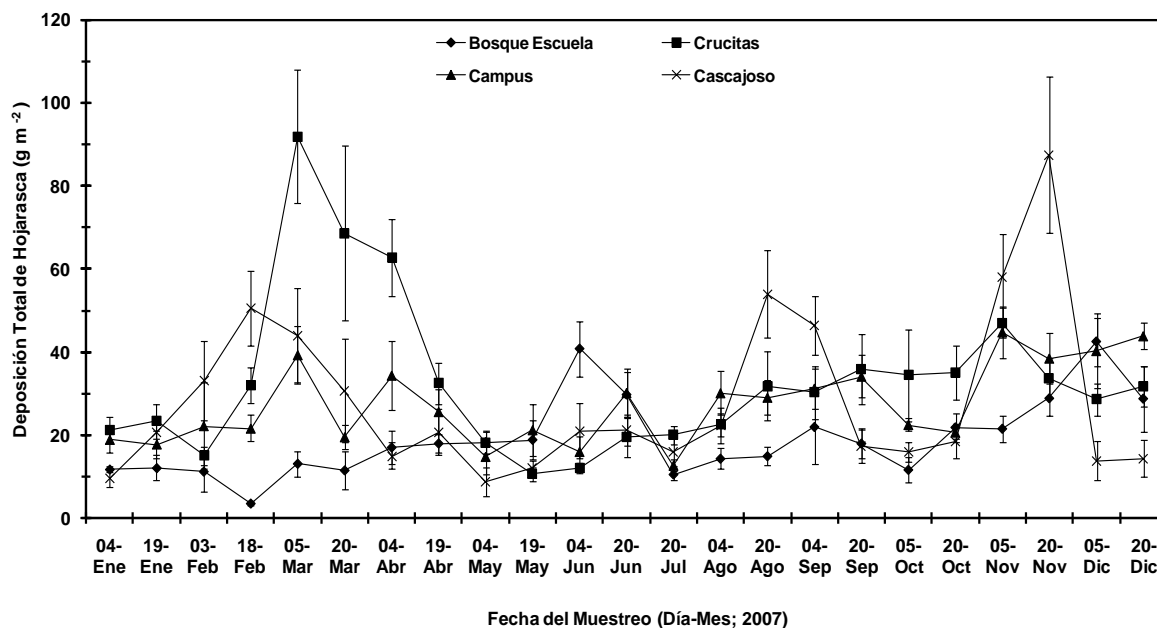
El resumen del análisis de varianza para detectar diferencias en la deposición de la hojarasca total y en cada uno de sus componentes entre los sitios de estudio para cada fecha de muestreo, se ilustra en el Cuadro 10. Como se puede observar, para el componente hojas, solo en cuatro (19-Abr, 20-Jul, 04-Ago y 20-Oct) de veintitrés fechas de muestreo no se detectó diferencias significativas ( $P > .05$ ) entre los sitios. Para el componente estructuras reproductivas, solo en seis fechas de muestreo (19-Ene, 03-Feb, 20-Mar, 04-May, 20-Jul y 20-Ago) no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ), en cambio, para el componente ramas en las veintitrés fechas de muestreos se detectaron diferencias significativas ( $P < .05$ ) entre los sitios. Para el componente otros, solo en cuatro fechas de muestreo (18-Feb, 20-Oct, 05-Nov y 20-Nov) no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ). En lo que respecta a la deposición total de la hojarasca por fecha de muestreo, no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ) en siete de veintitrés muestreos (19-Ene, 19-Abr, 19-May, 20-Jul, 20-Jul, 04-Ago y 20-Oct). En lo que corresponde a la deposición anual por componente y total de hojarasca, se detectaron diferencias significativas ( $P < .05$ ) entre los sitios de estudio (Cuadro 10). En la Figura A2 (Apéndice) se muestra la deposición individual de cada componente de la hojarasca observado en cada sitio de estudio. En los Cuadros A1 y A2 se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas. La comparación de medias entre sitios para cada componente de la hojarasca por fecha de muestreo y total anual se ilustra en los Cuadros A5 al A9 del Apéndice.

**Cuadro 10.** Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas Valores P en negritas (P<.05) indican diferencias en los componentes de la hojarasca y en la deposición total (por fecha de muestreo y anual) en los cuatro sitios de estudio.

Fecha de Muestreo	Estadístico	Componente de la Hojarasca				Total
		Hojas	Estructuras Reproductivas	Ramas	Otros	
04-Ene-07	$\chi^2$	10.357	11.465	24.622	18.430	12.227
	Valor P	<b>.016</b>	<b>.009</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.007</b>
19-Ene-07	$\chi^2$	15.435	6.391	8.200	20.930	6.937
	Valor P	<b>.001</b>	.094	<b>.042</b>	<b>&lt;.001</b>	.074
03-Feb-07	$\chi^2$	15.402	4.162	12.535	20.170	8.798
	Valor P	<b>.002</b>	.245	<b>.006</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.032</b>
18-Feb-07	$\chi^2$	26.776	11.051	23.881	5.836	27.050
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	<b>.011</b>	<b>&lt;.001</b>	.120	<b>&lt;.001</b>
05-Mar-07	$\chi^2$	24.868	21.423	18.422	10.223	20.922
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.017</b>	<b>&lt;.001</b>
20-Mar-07	$\chi^2$	19.883	4.946	16.721	14.138	17.306
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	.176	<b>.001</b>	<b>.003</b>	<b>.001</b>
04-Abr-07	$\chi^2$	12.020	22.939	29.327	13.955	19.600
	Valor P	<b>.007</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.003</b>	<b>&lt;.001</b>
19-Abr-07	$\chi^2$	5.118	10.236	22.264	18.179	4.876
	Valor P	.163	<b>.017</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.181
04-May-07	$\chi^2$	21.194	4.579	24.050	20.024	12.292
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	.205	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.006</b>
19-May-07	$\chi^2$	12.482	20.302	17.603	9.872	2.617
	Valor P	<b>.006</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>	<b>.020</b>	.455
04-Jun-07	$\chi^2$	14.385	15.609	9.357	24.081	16.769
	Valor P	<b>.002</b>	.001	<b>.025</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>
20-Jun-07	$\chi^2$	12.174	8.844	11.984	14.202	2.574
	Valor P	<b>.007</b>	<b>.031</b>	<b>.007</b>	<b>.003</b>	.462
20-Jul-07	$\chi^2$	1.878	6.334	23.308	17.767	6.951
	Valor P	.598	.096	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.073
04-Ago-07	$\chi^2$	5.321	11.548	26.016	11.532	7.790
	Valor P	.150	<b>.009</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.009</b>	.051
20-Ago-07	$\chi^2$	16.024	2.595	20.614	8.938	15.268
	Valor P	<b>.001</b>	.458	<b>&lt;.001</b>	<b>.030</b>	<b>.002</b>
04-Sep-07	$\chi^2$	23.454	10.442	10.294	10.935	10.371
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	<b>.015</b>	<b>.016</b>	<b>.012</b>	<b>.016</b>
20-Sep-07	$\chi^2$	12.250	9.935	19.965	16.623	10.064
	Valor P	<b>.007</b>	<b>.019</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>	<b>.018</b>
05-Oct-07	$\chi^2$	17.544	14.745	16.487	9.593	15.517
	Valor P	<b>.001</b>	<b>.002</b>	<b>.001</b>	<b>.022</b>	<b>.001</b>
20-Oct-07	$\chi^2$	5.595	7.973	11.814	1.869	6.648
	Valor P	.133	<b>.047</b>	<b>.008</b>	.600	.084
05-Nov-07	$\chi^2$	14.720	11.805	20.946	.750	14.216
	Valor P	<b>.002</b>	<b>.008</b>	<b>&lt;.001</b>	.861	<b>.003</b>
20-Nov-07	$\chi^2$	12.157	10.959	24.504	7.171	9.164
	Valor P	<b>.007</b>	<b>.012</b>	<b>&lt;.001</b>	.067	<b>.027</b>
05-Dic-07	$\chi^2$	14.501	14.503	21.020	20.763	15.754
	Valor P	<b>.002</b>	<b>.002</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>
20-Dic-07	$\chi^2$	17.827	15.246	27.270	11.236	16.087
	Valor P	<b>&lt;.001</b>	<b>.002</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.011</b>	<b>.001</b>
Total	$\chi^2$	13.447	9.537	25.601	24.190	13.210
	Valor P	<b>.004</b>	<b>.023</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.004</b>

## 4.2 Deposición total de hojarasca

Sobre una base quincenal, el patrón de la deposición total de la hojarasca en los cuatro sitios de estudio durante el periodo experimental se ilustra en la Figura 4. Para el sitio Bosque Escuela, la deposición fluctuó de 3.58 (18-Feb) a 42.45 (05-Dic) g m<sup>-2</sup>; en el sitio Crucitas la deposición fluctuó de 10.57 (19-May) a 91.94 (05-Mar); en el sitio Campus varió de 12.71 (20-Jul) a 44.86 (05-Nov) y en el sitio Cascajoso fluctuó de 8.80 (04-May) a 87.56 (20-Nov). Para el sitio Bosque Escuela se observaron dos picos de deposición; el primero corresponde a la fecha 04-Jun y el segundo a la fecha 05-Dic. Ambas deposiciones contribuyeron en un 18% de la producción anual de la hojarasca de ese sitio. Para el sitio Crucitas se detectaron tres picos en las siguientes fechas: 05-Mar, 20-Mar y 04-Abr; representado el 29% de la producción anual de la hojarasca. Para el sitio Campus se observaron cuatro deposiciones principales correspondientes a las fechas 05-Mar, 05-Nov, 05-Dic y 20-Dic; lo que representa un 26% de la producción anual de la hojarasca. Para el sitio Cascajoso se observaron cuatro deposiciones correspondientes a las fechas 18-Feb, 20-Ago, 05-Nov y 20-Nov. Estas deposiciones representaron el 38% de la producción anual de hojarasca. Estas deposiciones corresponden al principal componente de la hojarasca, las hojas, con una fluctuación que va del 73 (Bosque Escuela) al 86% (Cascajoso) de la deposición total.



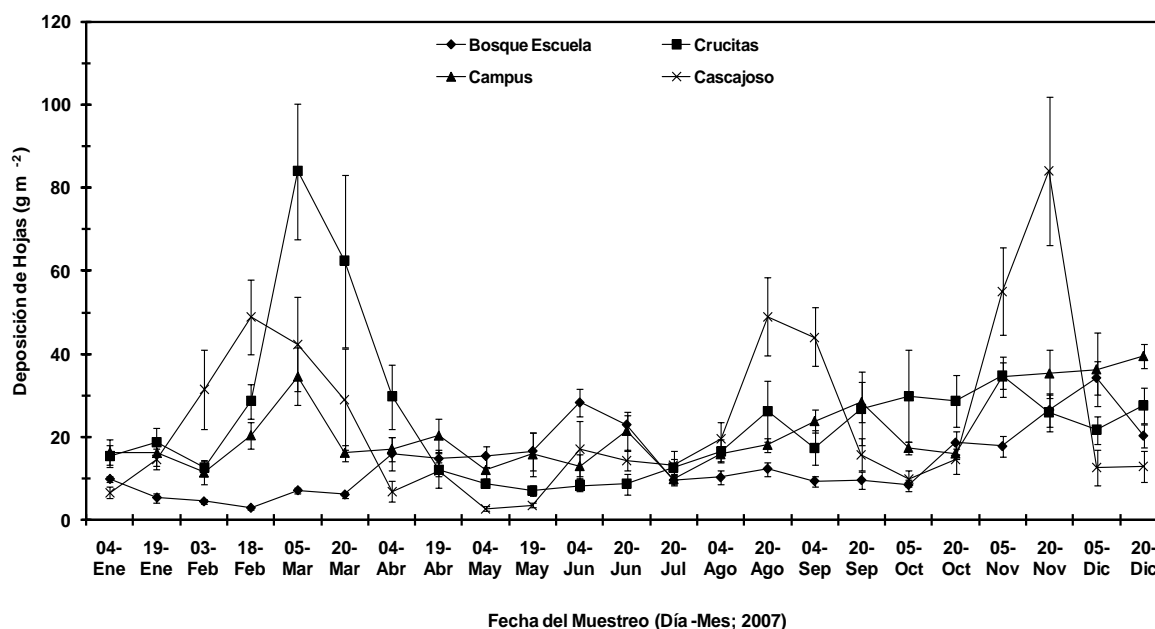
**Figura 4.** Deposición de hojarasca en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=10$ )  $\pm$  error estándar.

### 4.3 Deposición del componente hojas

La deposición del componente hojas en los cuatro sitios de estudio se ilustra en la Figura 5. La deposición de hojas para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 2.85 (18-Feb) a 34.19 (05-Dic)  $\text{g m}^{-2}$ ; en el sitio Crucitas de 7.11 (19-May) a 24.56 (05-Mar); en el sitio Campus de 9.77 (20-Jul) a 39.53 (20-Dic) y en el sitio Cascajoso de 2.73 (04-May) a 84.16 (20-Nov)  $\text{g m}^{-2}$ . Para el sitio Bosque Escuela se observó un pico de deposición en la fecha 05-Dic, en cambio, en el sitio Crucitas se presentaron dos deposiciones: 05-Mar y 20-Mar. En el sitio Campus, se observaron cuatro picos de deposición (05-Nov, 20-Nov, 05-Dic y 20-Dic). Por el contrario, el sitio Cascajoso presentó cinco picos de deposición: 18-Feb, 20-Ago, 04-Sep, 05-Nov y 20-Nov. Estas



deposiciones representaron el 10, 26, 30 y 50%, de la producción anual de hojas para el sitio Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso, respectivamente.

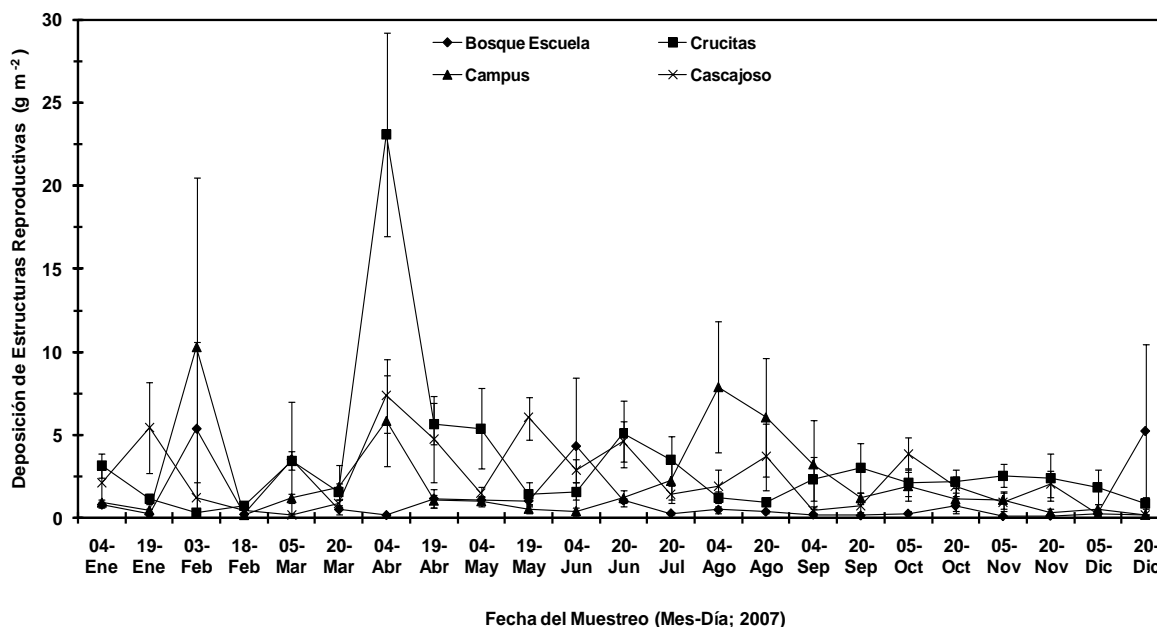


**Figura 5.** Deposición de hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=10$ )  $\pm$  error estándar.

#### 4.4 Deposición del componente estructuras reproductivas

La deposición del componente estructuras reproductivas en los cuatro sitios de estudio se muestra en la Figura 6. La deposición de estructuras reproductivas para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 0.11 (05-Nov) a 5.40 (03-Feb)  $\text{g m}^{-2}$ ; en el sitio Crucitas de 0.33 (03-Feb) a 23.12 (04-Abr); en el sitio Campus de 0.15 (18-Feb) a 10.32 (03-Feb); y en el sitio Cascajoso de 0.16 (20-Dic) a 7.36 (04-Abr)  $\text{g m}^{-2}$ . Para el sitio Crucitas se observó un pico de deposición correspondiente a la fecha 04-Abr mientras que el sitio Campus presento dos picos en las fechas 03-Feb, y 04-Ago.

Estas deposiciones representaron un 30 y 36%, respectivamente, de la producción de estructuras reproductivas.

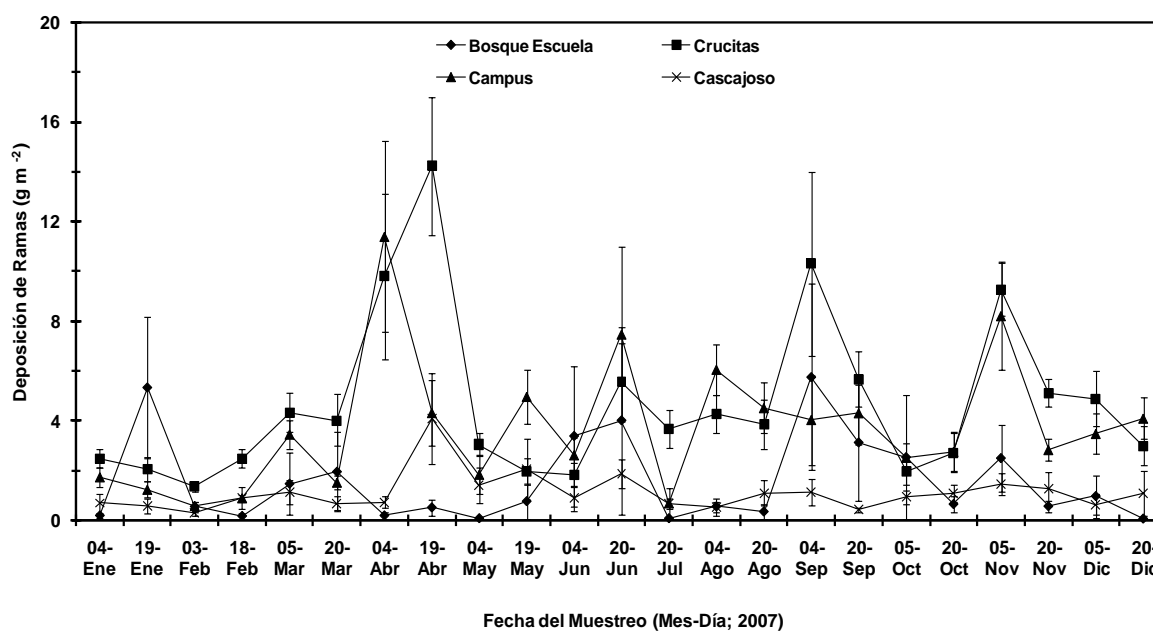


**Figura 6.** Deposición de estructuras reproductivas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=10$ )  $\pm$  error estándar.

#### 4.5 Deposición del componente ramas

La deposición del componente ramas en los cuatro sitios de estudio se muestra en la Figura 7. La deposición de ramas para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 0.06 (20-Dic) a 5.75 (04-Sep)  $\text{g m}^{-2}$ ; en el sitio Crucitas de 1.38 (03-Feb) a 14.23 (19-Abr); en el sitio Campus de 0.58 (03-Feb) a 11.40 (04-Abr); y en el sitio Cascajoso de 0.29 (03-Feb) a 4.08 (19-Abr)  $\text{g m}^{-2}$ . Para el sitio Bosque Escuela se observaron dos deposiciones principales correspondientes a las fechas 19-Ene y 04 Sep. El sitio Crucitas presentó cuatro picos en la deposición de ramas en las fechas 04-Abr, 19-

Abr, 04-Sep y 05-Nov. El sitio Campus presentó tres picos correspondiendo a las fechas 04-Abr, 20-Jun y 05-Nov. La contribución de las principales deposiciones de ramas en el sitio Bosque Escuela, Crucitas y Campus representaron el 31, 40 y 32%, respectivamente, de la producción anual de este componente. Para el sitio Cascajoso, la deposición de ramas permaneció mayormente constante a lo largo del periodo experimental.

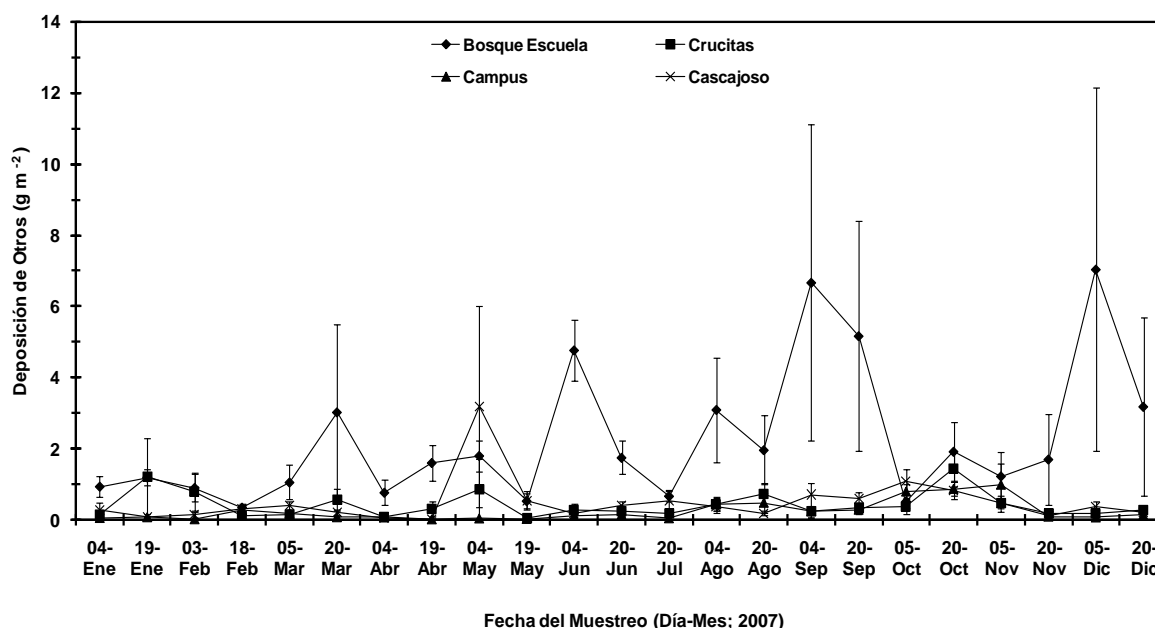


**Figura 7.** Deposición de ramas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=10$ )  $\pm$  error estándar.

#### 4.6 Deposición del componente otros

La deposición del componente otros en los cuatro sitios de estudio se presenta en la Figura 8. La deposición de otros para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 0.35 (18-Feb) a 7.04 (05-Dic)  $\text{g m}^{-2}$ ; en el sitio Crucitas de 0.05 (19-May) a 1.43 (20-Oct); en el

sitio Campus de 0.0 (19-Abr) a 0.99 (05-Nov); en el sitio Cascajoso de 0.03 (19-Abr) a 3.17 (04-May)  $\text{g m}^{-2}$ . Para el sitio Bosque Escuela se observaron seis picos principales correspondiendo a las fechas 20-Mar, 04-Jun, 04-Sep, 20-Sep, 05-Dic y 20 Dic. El sitio Crucitas y Campus presentaron una deposición constante durante el periodo de estudio. El sitio Cascajoso presentó un pico el 04-May. La contribución de los principales picos en la deposición de otros para el Bosque Escuela y Cascajoso fue del orden de 58 y 28%, respectivamente, de la producción anual de este componente. Cabe señalar que en el sitio Bosque Escuela, el principal constituyente de otros fue la corteza.



**Figura 8.** Deposición de otros en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=10$ )  $\pm$  error estándar.

El análisis de correlación no detectó asociación positiva o negativa entre la deposición de los componentes de la hojarasca y variables ambientales

(temperatura, humedad relativa y precipitación) registradas durante el periodo de estudio.

#### **4.7 Contenido de nutrimentos en el componente hojas**

El resumen del análisis de varianza para detectar diferencias en el contenido de macro- y micro-nutrimentos en el componente hojas entre los sitios de estudio, para doce fechas de muestreo se ilustra en el Cuadro 11. Como se puede observar, para los nutrimentos Ca, P y N se detectaron diferencias significativas ( $P < .05$ ) entre los sitios en las doce fechas de muestreo, en cambio, para el nutrimento K no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ) en cuatro fechas de muestreo (19-Ene, 18-Feb, 20-Mar, 20-Nov). Para los nutrimentos Mg, Fe y Mn solo en una fecha de doce muestreos no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ): 18-Feb, 19-Ene y 20-Dic, respectivamente. Para el nutrimento Cu, solo en tres fechas de muestreo (19-Ene, 18-Feb y 20-Nov) no se detectaron diferencias significativas ( $P > .05$ ). Para el nutrimento Zn, siete fechas de muestreo (19-Ene, 19-Abril, 20-Jul, 20-Ago, 20-Sep, 20-Nov y 20-Dic) mostraron diferencias significativas ( $P < .05$ ) en el contenido de este nutrimento entre los sitios de estudio. En los Cuadros A3 y A4 se presentan los resultados de la prueba de homogeneidad de varianzas. La comparación de medias entre sitios para el contenido de nutrimentos en el componente hojas, por fecha de muestreo, se ilustra en los Cuadros A10 al A18 del Apéndice.

**Cuadro 11.** Resumen del análisis de la prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias significativas. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican diferencias en el contenido de macro- y micro-nutrientes en el componente hojas (por fechas de muestreo) en los cuatro sitios de estudio.

Fecha de Muestreo	Estadístico	Nutrimento en el componente hoja								
		Ca	K	Mg	P	N	Cu	Fe	Mn	Zn
19-Ene-07	$\chi^2$	11.66	1.25	9.31	10.23	14.55	2.49	4.14	7.83	1.15
	Valor P	<b>.009</b>	.741	<b>.025</b>	<b>.017</b>	<b>.002</b>	.478	.246	<b>.050</b>	.765
18-Feb-07	$\chi^2$	12.62	5.00	4.69	8.37	13.54	5.45	8.69	7.46	7.19
	Valor P	<b>.006</b>	.172	.196	<b>.039</b>	<b>.004</b>	.142	<b>.034</b>	.059	.066
20-Mar-07	$\chi^2$	14.52	5.82	12.95	11.46	13.12	11.87	15.96	8.76	8.70
	Valor P	<b>.002</b>	.121	<b>.005</b>	<b>.009</b>	<b>.004</b>	<b>.008</b>	<b>.001</b>	<b>.033</b>	<b>.034</b>
19-Abr-07	$\chi^2$	14.22	11.55	10.00	11.22	12.73	11.37	8.29	9.31	4.84
	Valor P	<b>.003</b>	<b>.009</b>	<b>.019</b>	<b>.011</b>	<b>.005</b>	<b>.010</b>	<b>.040</b>	<b>.025</b>	.184
19-May-07	$\chi^2$	15.18	8.62	14.66	10.80	11.45	15.32	7.02	15.39	10.90
	Valor P	<b>.002</b>	<b>.035</b>	<b>.002</b>	<b>.013</b>	<b>.010</b>	<b>.002</b>	.071	<b>.002</b>	<b>.012</b>
20-Jun-07	$\chi^2$	14.02	11.14	13.88	10.63	11.48	16.21	12.51	15.62	11.81
	Valor P	<b>.003</b>	<b>.011</b>	<b>.003</b>	<b>.014</b>	<b>.009</b>	<b>.001</b>	<b>.006</b>	<b>.001</b>	<b>.008</b>
20-Jul-07	$\chi^2$	16.90	11.78	15.94	9.74	14.23	12.65	9.61	12.71	4.36
	Valor P	<b>.001</b>	<b>.008</b>	<b>.001</b>	<b>.021</b>	<b>.003</b>	<b>.005</b>	<b>.022</b>	<b>.005</b>	.225
20-Ago-07	$\chi^2$	9.15	10.15	8.79	9.87	16.06	11.91	13.70	13.70	3.00
	Valor P	<b>.027</b>	<b>.017</b>	<b>.032</b>	<b>.020</b>	<b>.001</b>	<b>.008</b>	<b>.003</b>	<b>.003</b>	.392
20-Sep-07	$\chi^2$	14.57	14.10	15.70	9.57	13.54	14.52	11.31	11.34	5.13
	Valor P	<b>.002</b>	<b>.003</b>	<b>.001</b>	<b>.023</b>	<b>.004</b>	<b>.002</b>	<b>.010</b>	<b>.010</b>	.163
20-Oct-07	$\chi^2$	13.59	12.37	12.90	10.64	14.69	9.38	7.57	7.61	8.49
	Valor P	<b>.004</b>	<b>.006</b>	<b>.005</b>	<b>.014</b>	<b>.002</b>	<b>.025</b>	.056	.055	<b>.037</b>
20-Nov-07	$\chi^2$	11.89	6.15	9.43	10.17	14.75	2.50	7.23	11.69	1.38
	Valor P	<b>.008</b>	.104	<b>.024</b>	<b>.017</b>	<b>.002</b>	.476	.065	<b>.009</b>	.711
20-Dic-07	$\chi^2$	16.10	10.11	13.55	4.87	12.10	11.95	8.15	4.62	4.92
	Valor P	<b>.001</b>	<b>.018</b>	<b>.004</b>	.182	<b>.007</b>	<b>.008</b>	<b>.043</b>	.202	.178

#### **4.7.1 Contenido de macro-nutrientes**

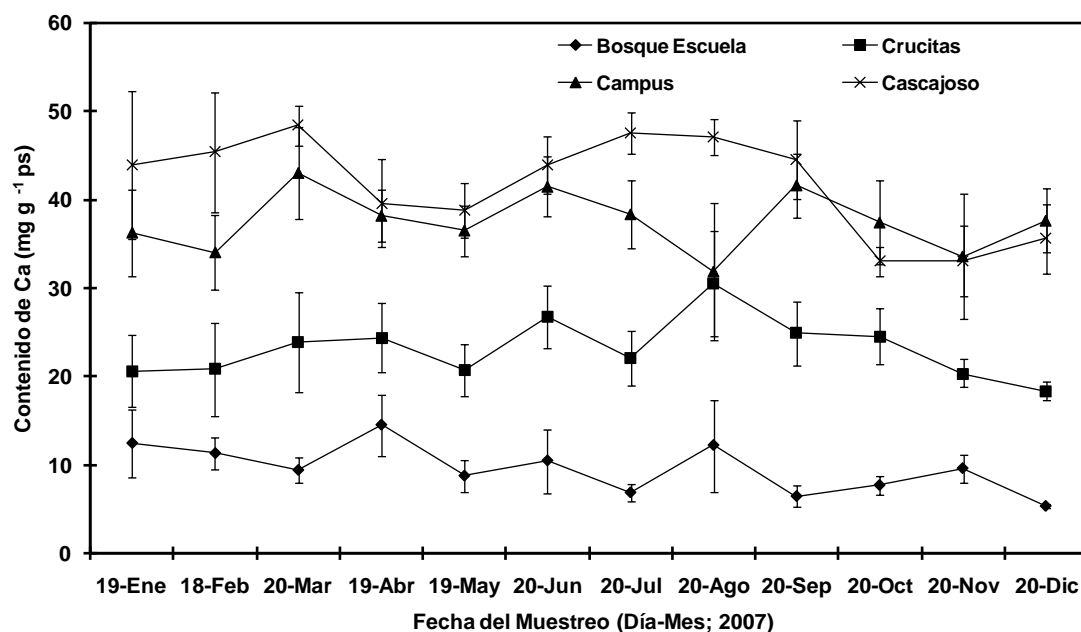
##### **4.7.1.1 Contenido de Calcio (Ca)**

El patrón del contenido de Ca en hojas en los cuatro sitios de estudio se muestra en la Figura 9(a). El contenido de Ca para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 5.32 (20-Dic) a 14.48 (19-Abr)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas de 18.35 (20-Dic) a 30.53 (20-Ago); en el sitio Campus de 31.91 (20-Ago) a 43.02 (20-Mar); y en el sitio Cascajoso de 33.05 (20-Oct) a 48.45 (20-Mar)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ . Los sitios Bosque Escuela y Crucitas mostraron un contenido de Ca constante durante el periodo de estudio, siendo este contenido menor en el sitio Bosque Escuela.

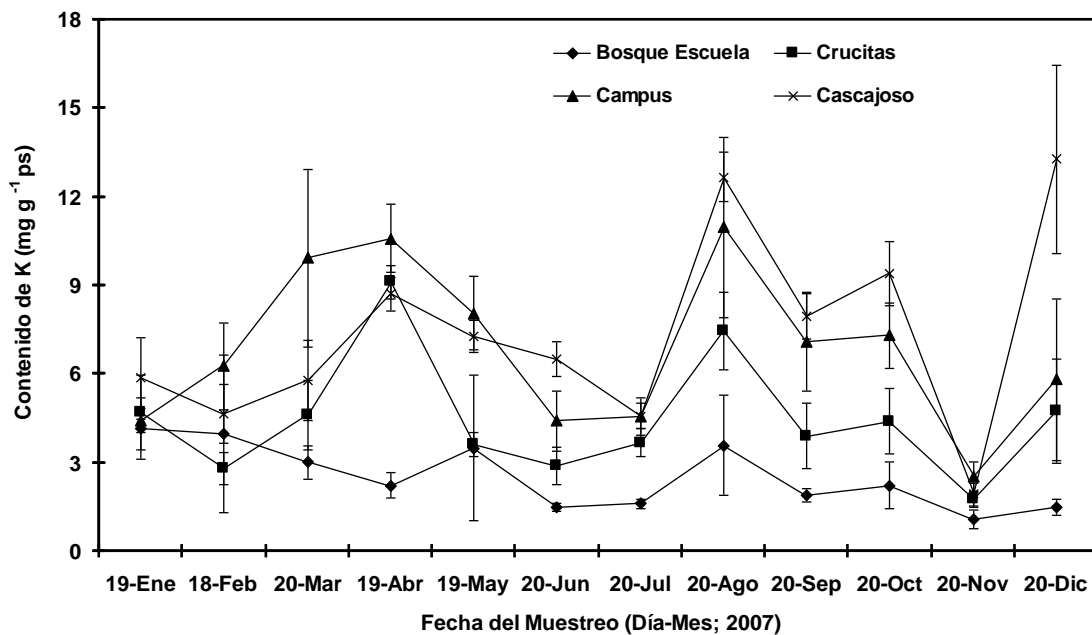
##### **4.7.1.2 Contenido de Potasio (K)**

El patrón del contenido de K en hojas en los cuatro sitios de estudio se muestra en la Figura 9(b). El contenido de K para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 1.08 (20-Nov) a 4.16 (19-Ene)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ ; para el sitio Crucitas de 1.77 (20-Nov) a 9.13 (19-Abril); en el sitio Campus de 2.51 (20-Nov) a 10.97 (10-Ago); y en el sitio Cascajoso de 1.94 (20-Nov) a 13.28 (20-Dic)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ . Para el sitio Bosque Escuela se observó que el contenido de K fue similar en los doce muestreos efectuados; el sitio Crucitas presentó dos picos en el contenido (19-Abr y 20-Ago); el sitio Campus presentó tres picos en el contenido siendo las fechas 20-Mar, 19-Abr y 20-Ago; y el sitio Cascajoso presentó dos picos en el contenido correspondiendo a las fechas 20-Ago y 20-Dic.

En general, el contenido de K se mantuvo relativamente constante a lo largo del periodo de estudio y menor respecto a los otros tres sitios.



(a)



(b)

**Figura 9.** Patrón del contenido de Ca (a) y K (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=5$ )  $\pm$  error estándar.

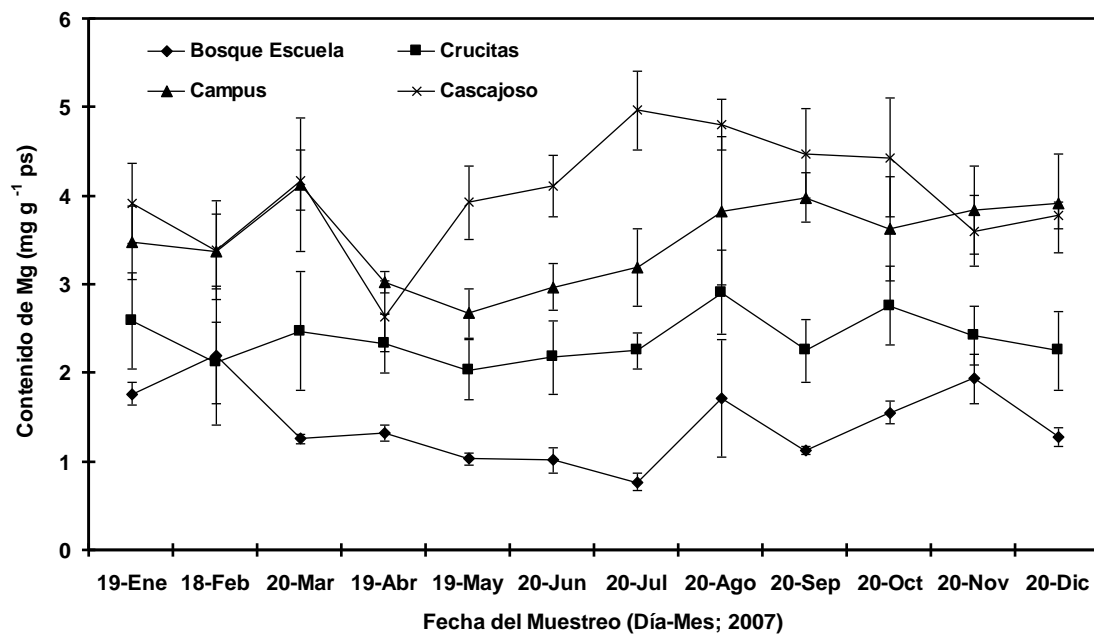


#### **4.7.1.3 Contenido de Magnesio (Mg)**

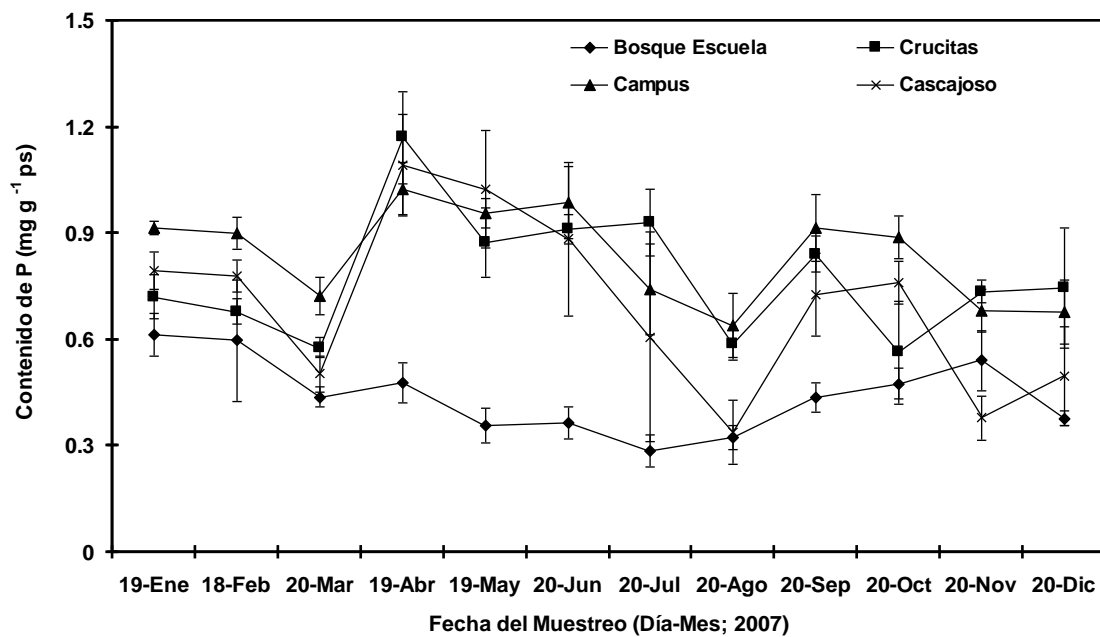
La fluctuación del contenido de Mg en hojas en los cuatros sitios de estudio se ilustra en la Figura 10(a). El contenido de Mg para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 0.78 (20-Jul) a 2.20 (18-Feb)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas de 2.04 (19-May) a 2.92 (20-Ago); en el sitio Campus de 2.68 (19-May) a 4.12 (20-Mar); y en el sitio Cascajoso de 2.64 (19-Abr) a 4.97 (20-Jul)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ . En general el contenido de Mg fue menor en el sitio Bosque Escuela respecto a los otros tres sitios estudiados.

#### **4.7.1.4 Contenido de Fósforo (P)**

La variación del contenido de P en hojas de los cuatros sitios de estudio se presenta en la Figura 10(b). El contenido de P para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 0.29 (20-Jul) a 0.61 (19-Ene)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas de 0.56 (20-Oct) a 1.17 (19-Abr); en el sitio Campus de 0.64 (20-Ago) a 1.02 (19-Abr); y en el sitio Cascajoso de 0.34 (20-Ago) a 1.09 (19-Abr). En general el contenido de P fue menor en el sitio Bosque Escuela respecto a los otros tres sitios evaluados.



(a)

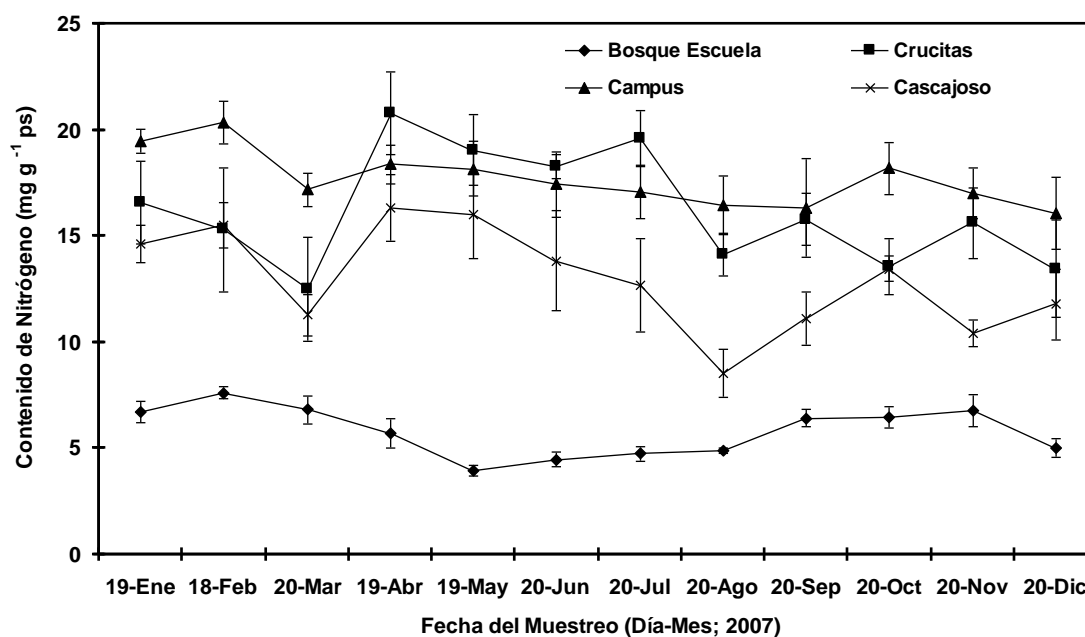


(b)

**Figura 10.** Patrón del contenido de Mg (a) y P (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=5$ )  $\pm$  error estándar.

#### 4.7.1.5 Contenido de Nitrógeno (N)

El contenido de N en hojas de los cuatros sitios de estudio se muestra en la Figura 11. El contenido de N para el sitio Bosque Escuela varió de 3.96 (19-May) a 7.63 (18-Feb)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas de 12.50 (20-Mar) a 20.82 (19-Abr); en el sitio Campus fluctuó de 16.09 (20-Dic) a 20.35 (18-Feb); y en el sitio Cascajoso varió de 8.53 (20-Ago) a 16.34 (19-Abr)  $\text{mg g}^{-1}\text{ps}$ . El sitio Bosque Escuela presentó un contenido de nitrógeno menor y constante en todas las fechas de muestreo respecto a los otros tres sitios.



**Figura 11.** Patrón del contenido de Nitrógeno en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=5$ )  $\pm$  error estándar.

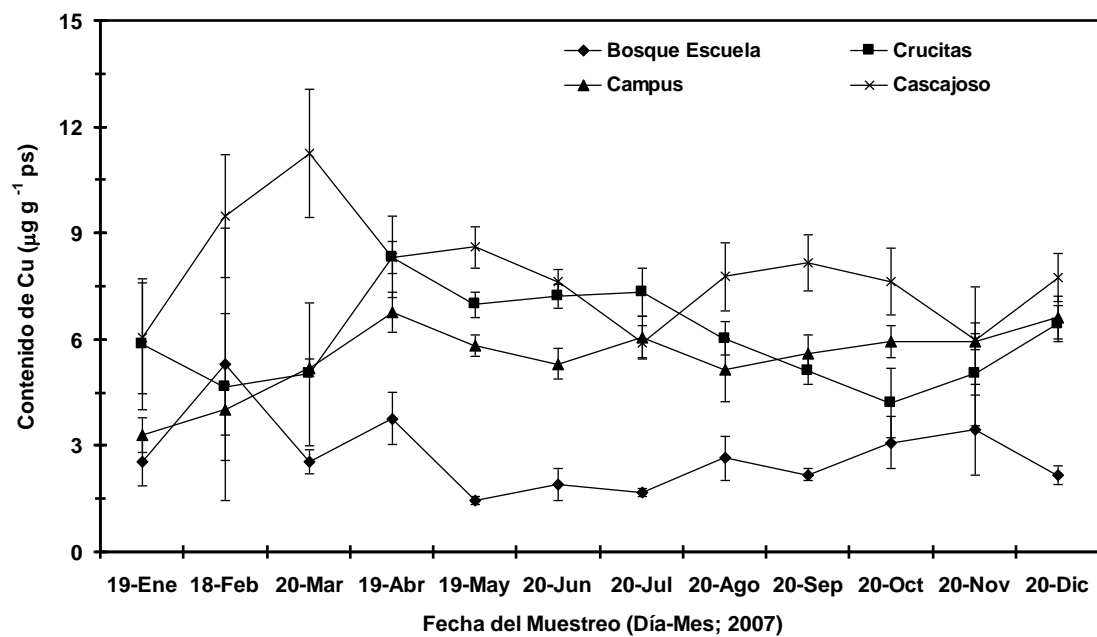
## **4.7.2 Contenido de micro-nutrientes**

### **4.7.2.1 Contenido de Cobre (Cu)**

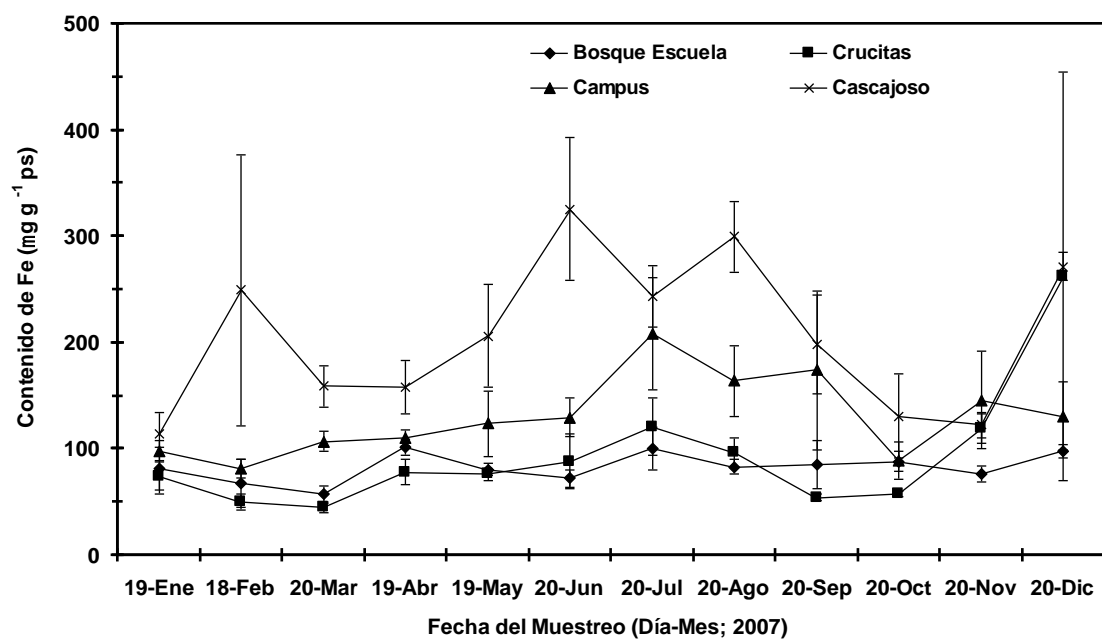
El contenido de Cu en el componente hojas en los cuatros sitios de estudio se presenta en la Figura 12(a). El contenido de Cu para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 1.47 (19-May) a 5.32 (18-Feb)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas fluctuó de 4.23 (20-Oct) a 8.35 (19-Abr); en el sitio Campus de 3.31 (19-Ene) a 6.79 (19-Abril); y en el sitio Cascajoso de 5.93 (20-Jul) a 11.26 (20-Mar)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ . En general, el contenido de Cu en el sitio Bosque Escuela mostró un patrón relativamente constante y menor respecto a los otros tres sitios evaluados.

### **4.7.2.2 Contenido de Fierro (Fe)**

El contenido de Fe en el componente hojas para los cuatros sitios de estudio se ilustra en la Figura 12(b). Como se puede apreciar en dicha Figura, el contenido de Fe para el sitio Bosque Escuela varió de 57.78 (20-Mar) a 101.83 (19-abr)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ ; en el sitio Crucitas de 44.71 (20-Mar) a 262.41 (20-Dic); en el sitio Campus de 81.71 (18-Feb) a 208.73 (20-Jul); y en el sitio Cascajoso de 114.66 (19-Ene) a 325.94 (20-Jun)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ . Los sitios Bosque Escuela y Crucitas mostraron un comportamiento muy similar en el contenido de Fe y este fue menor para la mayoría de los muestreos respecto a los otros dos sitios evaluados.



(a)



(b)

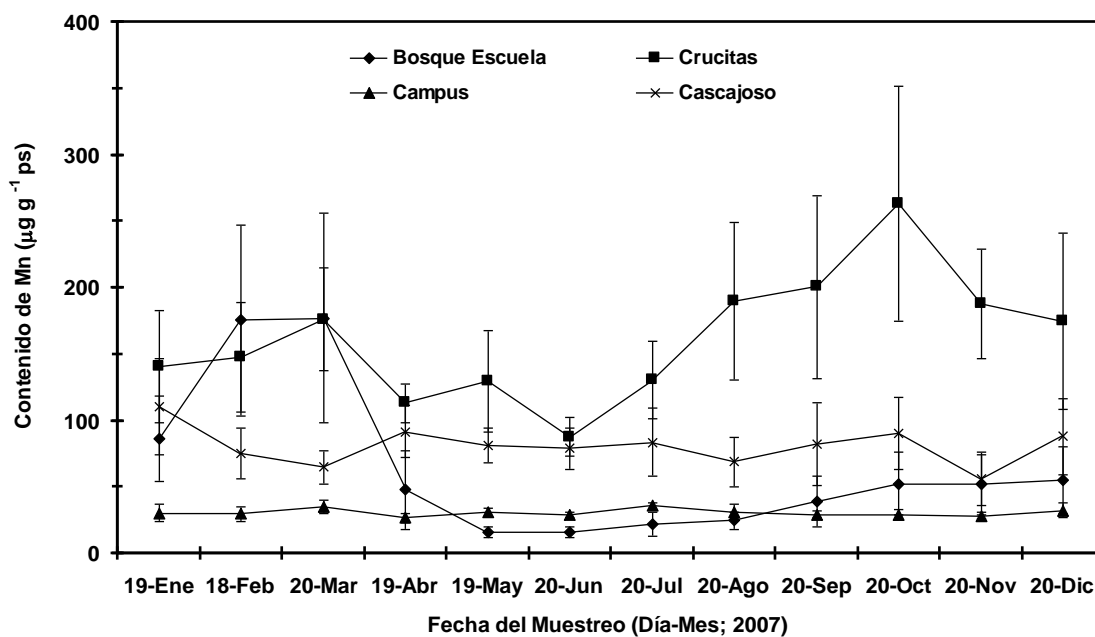
**Figura 12.** Patrón del contenido de Cu (a) y Fe (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=5$ )  $\pm$  error estándar.

#### **4.7.2.3 Contenido de Manganeso (Mn)**

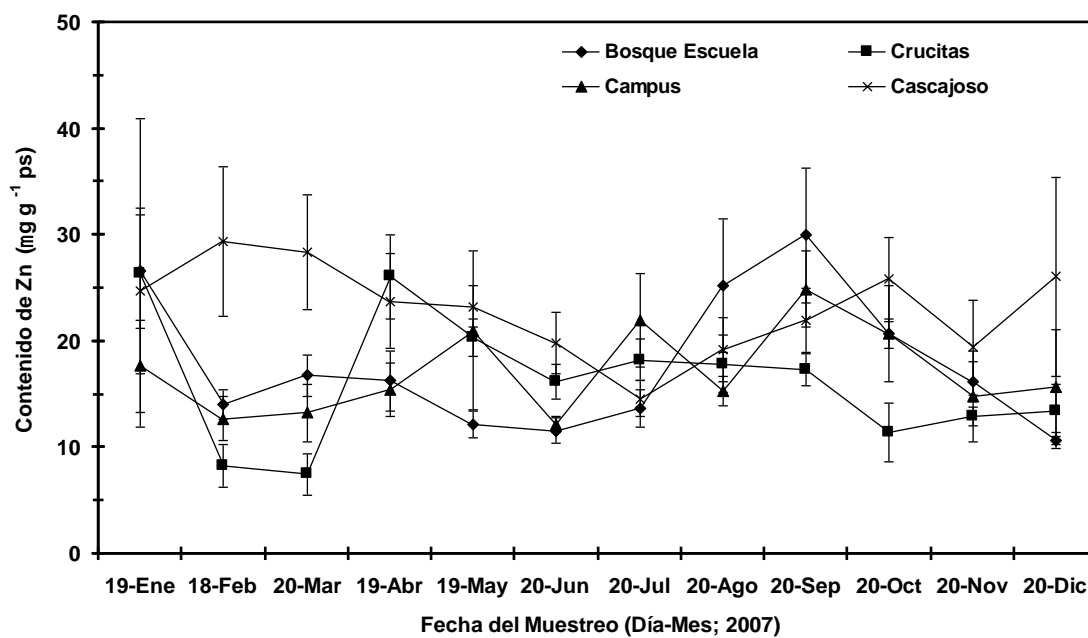
El contenido de Mn en el componente hojas para los cuatros sitios de estudio se ilustra en la Figura 13(a). El contenido de Mn para el sitio Bosque Escuela varió de 16.14 (19-May) a 177.32  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$  (20-Mar); en el sitio Crucitas de 87.79 (20-Jun) a 263.03 (20-Oct); en el sitio Campus de 26.83 (19-Abr) a 36.02 (20-Jul); y en el sitio Cascajoso de 56.21 (20-Nov) a 110.63 (19-Ene)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ . Aunque los sitios Campus y Cascajoso difirieron en los contenidos de Mn durante el periodo de estudio, ambos sitios presentaron un comportamiento relativamente similar en el contenido de Mn para todas las fechas de muestreo, mientras que el sitio Bosque Escuela mostro un patrón uniforme en el contenido a partir de la fecha del 19-Mayo, 2007.

#### **4.7.2.4 Contenido de Zinc (Zn)**

El contenido de Zn en los cuatros sitios de estudio se ilustra en la Figura 13(b). El contenido de Zn para el sitio Bosque Escuela fluctuó de 10.72 (20-Dic) a 29.96  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$  (20-Sep); en el sitio Crucitas de 7.48 (20-Mar) a 26.43 (19-Ene); en el sitio Campus de 12.21 (20-Jun) a 24.93 (20-Sep); y en el sitio Cascajoso de 14.62 (20-Jul) a 29.35 (18-Feb)  $\mu\text{g g}^{-1}\text{ps}$ . Aunque se detectaron diferencias entre sitios y muestreos, el contenido de Zn se mostró muy variable para la mayoría de los muestreos dentro de sitios.



(a)



(b)

**Figura 13.** Patrón del contenido de Mn (a) y Zn (b) en el componente hojas en los cuatro sitios de estudio. Cada valor graficado representa la media ( $n=5$ )  $\pm$  error estándar.

#### 4.8 Deposición anual de hojarasca

La deposición anual de la hojarasca y de cada uno de sus componentes se ilustra en el Cuadro 12. Para cada uno de los sitios de estudio, la deposición total anual para el sitio Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fue de 4,407, 7,397, 6,304 y 6527 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Para los sitios Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso, las hojas representaron el componente principal con una contribución del 74, 75, 78 y 86%, respectivamente; las estructuras reproductivas aportaron un 6, 9, 8 y 8%, respectivamente; las ramas constituyeron un 8, 14, 14 y 4%, respectivamente; el componente otros representó un 12, <1, 1 y 2%, respectivamente, de la deposición total de hojarasca. La contribución anual de hojas fluctuó de 3,254 (Bosque Escuela) a 5,612.6 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cascajoso); las estructuras reproductivas de 277.8 (Bosque Escuela) a 700.9 (Crucitas); las ramas de 255.5 (Cascajoso) a 1,041.1 (Crucitas); y el componente otros de 94.5 (Crucitas) a 519.2 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Bosque Escuela).

**Cuadro 12.** Deposición (kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) anual de los componentes de la hojarasca.

Componente	Sitio			
	Bosque Escuela	Crucitas	Campus	Cascajoso
Hojas	3,254.0	5,560.5	4,892.0	5,612.6
Estructuras reproductivas	277.8	700.9	504.2	545.5
Ramas	356.3	1,041.1	855.5	255.5
Otros	519.2	94.5	52.3	113.5
Total	4,407.3	7,397.1	6,304.1	6,527.2



#### 4.9 Deposición anual de nutrimentos vía hojas

La deposición anual de macro- (Ca, K, Mg, P y N) y micro-nutrimentos (Cu, Fe, Mn y Zn) en el componente hojas se ilustra en el Cuadro 13. La deposición de Ca fluctuó de 30.3 (Bosque Escuela) a 232.7 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cascajoso); K de 7.2 (Bosque Escuela) a 37.5 (Cascajoso); Mg de 4.5 (Bosque Escuela) a 22.6 (Cascajoso); P de 1.4 (Bosque Escuela) a 4 (Crucitas y Campus); y N de 18.3 (Bosque Escuela) a 85.8 (Campus). Con respecto a la contribución anual de macro-nutrimentos, la deposición total (Ca+K+Mg+P+N) en el Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fue de 61.7, 258.1, 322.3, 364.5 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otro lado, el orden en la deposición de macro-nutrimentos se dio como sigue para los sitios: Ca > N > K > Mg > P.

La deposición anual de Cu fluctuó de 86 (Bosque Escuela) a 441.5 mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cascajoso); Fe de 2,729.8 (Bosque Escuela) a 11,194 (Cascajoso); Mn de 1,495.6 (Campus) a 9,906 (Crucitas); y Zn de 539.7 (Bosque Escuela) a 1,299 (Cascajoso). La contribución anual total (Cu+Fe+Mn+Zn) para el sitio Bosque Escuela, Crucitas, Campus y Cascajoso fue de 5,024.2, 15,793.8, 8,897.9 y 17,148.3 mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. En general, el orden en la deposición de micro-nutrimentos se dio como sigue para los sitios: Fe > Mn > Zn > Cu.

En lo que respecta al uso eficiente de macro-nutrimentos (Cuadro 13), el Ca, K y Mg presentaron el siguiente orden: Bosque Escuela > Crucitas > Campus ≥ Cascajoso; mientras que para P y N el orden se dio como sigue: Bosque Escuela > Cascajoso > Crucitas ≥ Campus. El uso eficiente de Ca fluctuó de 24.1 (Cascajoso) a 107.4 (Bosque Escuela); K de 150 (Campus y Cascajoso) a 451.9 (Bosque Escuela);

Mg de 248.3 (Cascajoso) a 723.1 (Bosque Escuela); P de 1,223 (Campus) a 2,324.3 (Bosque Escuela); y N de 57 (Campus) a 177.8 (Bosque Escuela).

**Cuadro 13.** Deposición anual de macro (Ca, K, Mg, P y N; kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y micro-nutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn; mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) vía hojas y uso eficiente de macro-nutrientes (UEMaH).

Nutrimento	Sitio			
	Bosque Escuela	Crucitas	Campus	Cascajoso
Macro				
Ca	30.3	130.5	182.3	232.7
K	7.2	24.8	32.5	37.5
Mg	4.5	13.7	17.7	22.6
P	1.4	4.0	4.0	3.4
N	18.3	85.1	85.8	68.3
Total	61.7	258.1	322.3	364.5
Micro				
Cu	86.0	312.1	272.9	441.5
Fe	2,729.8	4,796.7	6,304.5	11,193.9
Mn	1,668.8	9,906.2	1,495.6	4,213.7
Zn	539.7	778.9	824.9	1,299.2
Total	5,024.3	15,793.9	8,897.9	17,148.3
UEMaH				
Ca	107.4	42.6	26.8	24.1
K	451.9	224.2	150.5	149.7
Mg	723.1	405.9	276.4	248.3
P	2,324.3	1,390.1	1,223.0	1,650.8
N	177.8	65.3	57.0	82.2

El uso eficiente de macro-nutrientes en el componente hojas (UEMaH) se cálculo de la forma siguiente (Vitousek, 1982): [(kg hojas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) / (kg nutriente en hojas ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)].

## 5. DISCUSIÓN

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la deposición y dinámica de la caída de la hojarasca, así como conocer la cantidad de nutrimentos contenidos en el componente hojas durante un año de estudio. Los resultados han revelado picos de deposición en diferentes fechas del año respecto a los diferentes componentes de la hojarasca, en relación a la cantidad, variación y orden de deposición de cada componente. Esta producción varió sin tomar en cuenta los componentes individuales o totales de la hojarasca en cada uno de los sitios evaluados.

En cuanto a la caída total de hojarasca en los cuatro sitios de estudio, la mayor producción de deposición total anual se encontró en el sitio Crucitas (matorral alto subinerme), mientras la deposición más baja se presentó para el sitio Bosque Escuela (bosque mixto de pino-encino), con valores de 7,397.1, y 4,407.3,  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. Estas cantidades coinciden con los encontrados por Hernández (2006), en un bosque coetáneo donde la producción de hojarasca fue de 7,903  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que González *et al.* (2008), reportan haber encontrado en un matorral espinoso tamaulipeco una deposición total de 4,619  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estudios en otras comunidades vegetales demuestran resultados similares, tal es el caso para varios ecosistemas tropicales húmedos los cuales tienen un promedio de 8,900  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , según reportan Anderson y Swift (1983).

La máxima deposición del componente hojas se presentó en el sitio Cascajoso, mientras que el sitio con menor deposición fue el Bosque Escuela con valores de 5,612 y 3,254  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. Estos valores coinciden con estudios realizados por González *et al.* (2008) en el cual encontraron valores para el

matorral espinoso tamaulipeco que fluctuaron de los 2,522 a 3,625 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estas cantidades representan el mayor componente de la hojarasca, contribuyendo en un 73% de la deposición total. Palacios *et al.* (2002), realizaron un estudio en un bosque maulino fragmentado, y mencionan que el componente más importante de la hojarasca son las hojas las cuales representan un 75% de la hojarasca total producida.

En lo que respecta al componente estructuras reproductivas, los valores máximos y mínimos se presentaron en los sitios Crucitas y Bosque Escuela con 701 y 278 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos resultados contrastan con los observados por Quinto *et al.* (2007), quienes encontraron en un bosque pluvial tropical una deposición de 190 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que Del Valle Arango (2003), reporta una deposición de 1,333 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un bosque pantanoso del Pacífico Sur Colombiano.

La mayor deposición total del componente ramas se presentó en el sitio Crucitas mientras que el valor más bajo lo registró el sitio Cascajoso con valores de 1,041 y 255 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Quinto *et al.* (2007), reportan una deposición total de ramas de 1,070 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un bosque pluvia tropical. Por otro lado, Hernández *et al.* (2007), encontraron cantidades al menos dos veces mayores que las observadas en este estudio (2,373 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>); sin embargo, González *et al.* (2008), en un estudio realizado en el matorral espinoso tamaulipeco encontraron valores en la deposición de ramas que fluctuaron de 474 a 671 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Respecto al componente otros, este mostró su máxima deposición en el sitio Bosque Escuela, mientras que el valor más bajo se registró en el sitio Campus, con

valores de 519 y 52 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. González *et al.* (2008), reportan una deposición que fluctúa de 157 a 290 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que representa de un 2 a un 5% de la deposición total de la hojarasca; esto en un matorral espinoso tamaulipeco. Moretto *et al.* (2005), realizaron un estudio en un bosque sin disturbio donde se evaluó la caída de otros componentes de la hojarasca. Los valores encontrados van de los 140 a 430 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Palacios *et al.* (2002), encontraron una deposición mensual de líquenes de 20±8 y una deposición de corteza 36±12 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente, en un bosque maulino fragmentado en una eco-región de Chile. Cabe señalar que otras investigaciones realizadas no contemplan este componente como parte de sus estudios (Del Valle-Arango, 2003; Di Stefano y Fournier, 2005; Hernández *et al.*, 2007; Quinto *et al.*, 2007; Robles y Robles, 2007).

El orden de deposición anual total de hojarasca para los cuatro sitios de estudio fue el siguiente: Crucitas > Cascajoso > Campus > Bosque Escuela, mientras que por componente, el aporte anual se presentó de la siguiente forma Hojas > Ramas > Estructuras Reproductivas > Otros. El orden de la deposición anual total por componente y sitio se presentó de la siguiente forma: para las Hojas: Cascajoso > Crucitas > Campus > Bosque Escuela; para Ramas: Crucitas > Campus > Bosque Escuela > Cascajoso; para Estructuras Reproductivas: Crucitas > Cascajoso > Campus > Bosque Escuela; y para el componente Otros: Bosque Escuela > Cascajoso > Crucitas > Campus. Este patrón puede explicar que el comportamiento de las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca está posiblemente asociado a procesos y factores biológicos y climáticos, aunque también son relevantes la topografía, condiciones edáficas, especie vegetal, edad, y densidad de la comunidad vegetal. Aunque estas fluctuaciones también puedes estar

relacionadas a cambios fenológicos tales como mudas, abscisión, iniciación del brote, floración y desarrollo de frutos (Palma *et al.*, 2000; Prause *et al.*, 2003; González *et al.*, 2008). No obstante, Sánchez *et al.* (2003), explican que es importante no solo conocer la disponibilidad de agua, sino también, la interacción de diferentes factores como la magnitud de los vientos y los efectos mecánicos de la lluvia. Por el contrario, Schlatter *et al.* (2006), consideran importante la caída de la hojarasca ya que en ella se encuentran reservas, representada por elementos minerales que se verán reflejados en una función como fuente nutritiva para la fauna y flora heterótrofa del suelo y para el abastecimiento nutritivo de los árboles, lo que puede reducir considerablemente los costos para mantener la fertilidad del suelo en este tipo de vegetación.

Los resultados generados de la presente investigación no significa que el protocolo experimental adoptado no pueda detectar diferencias en la deposición total de hojarasca o en sus diferentes fracciones o componentes sobre una escala temporal o espacial para todas las fechas de muestreo, sino que el limitado número de datos y su alta variabilidad hace difícil llegar a una conclusión definitiva si existe o no diferencias entre los sitios en la producción total de hojarasca.

Por otro lado, los picos estacionales registrados y tal vez la variación espacial en la deposición de la hojarasca entre los sitios de estudio, probablemente puede estar asociada con la estructura vegetal presente en cada sitio de estudio evaluado; los cuales y específicamente Crucitas, Campus y Cascajoso, se caracterizan por tener especies deciduas y siempre verdes o perennes, así como por presentar un amplio rango de patrones de crecimiento, diversidad en la longevidad foliar, dinámicas de crecimiento y de contrastantes desarrollos fenológicos (Reid *et al.*,

1990; McMurtry *et al.*, 1996), además, de que el patrón climático existente entre ellos es muy similar. No obstante, la alta variabilidad en la deposición de hojarasca también puede estar relacionada al área y número de colectores, como se ha documentado anteriormente (Del Valle-Arango, 2003). Independientemente de que otras fuentes de variación puedan alterar la deposición de la hojarasca en una base estacional o anual, los resultados del presente estudio demuestran claramente que el principal componente de la hojarasca en orden de deposición de mayor a menor está representado por las hojas, ramas, estructuras reproductivas y otros. Resultados similares se han observado en otro tipo de comunidades vegetales (Strojan *et al.*, 1979; Del Valle-Arango, 2003; Vasconcelos y Luizão, 2004).

Con relación a los factores ambientales que eventualmente se asocian a la deposición de hojarasca, el Matorral Espinoso Tamaulipeco del Noreste de México se caracteriza por enfrentar una baja disponibilidad hídrica en el suelo debido a sequías prolongadas y frecuentes y a las temperaturas extremas (González *et al.*, 2000; 2004; 2008); lo cual conlleva a la abscisión de estructuras vegetales según las estaciones en que se presentan dichos fenómenos meteorológicos.

Montagnini *et al.* (2000), Montagnini y Jordan (2002) y Schlatter *et al.* (2003), consideran ventajoso el hecho de que se acumule hojarasca en el suelo, ya que se forma un mantillo que constituye una capa de detritus, principalmente de hojas que facilita la protección del suelo contra la erosividad de la lluvia y los cambios bruscos de temperatura, disminuyendo la evapotranspiración y manteniendo el suelo con mayor humedad ya que los nutrientes almacenados en la hojarasca se liberen más lentamente. Esto último reduce la posibilidad de su lixiviación en particular en ambientes de alta humedad.

A pesar de que el patrón del aporte de nutrientes entre los distintos componentes de la hojarasca no es una característica de las especies vegetales, los resultados de la presente investigación demuestran, al igual que otros estudios (Del Valle-Arango, 2003; Vasconcelos y Luizão, 2004), que el mayor aporte anual de nutrientes por la hojarasca es reciclado principalmente por las hojas, ramas, estructuras reproductivas y en menor tenor por el componente otros. En el presente trabajo, el orden de mayor aporte anual de macro-nutrientes fue de  $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ . Para el caso del aporte anual de micro-nutrientes, el orden de deposición fue como sigue:  $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . En cambio, el orden de mayor aporte anual de macro- y micro-nutrientes (“reciclado de nutrientes”) vía hojas, por sitio de estudio, es el siguiente: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque.

En el presente trabajo, la deposición de Ca presentó un orden de mayor aporte anual en los sitios de estudio como sigue: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela. La deposición de Ca entre el sitio Cascajoso y Bosque Escuela varió desde 232 a 30  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. Del Valle-Arango, (2003), reporta valores de Ca que van de 82.1 a 130.4. Ramírez *et al.* (2007), encontró valores de Ca en un bosque de roble, de pino pátula y ciprés de 51, 32 y 39  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. González *et al.* (2006), al estudiar el aporte anual de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco encontró valores de Ca que van de los 257 a 366  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

En lo que respecta al nutriente K, este tuvo un comportamiento del orden de mayor aporte anual en los sitios de estudio como se presenta a continuación: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela. La deposición fluctuó de los 37 a 7  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. Estos resultados son similares a los observados por



González *et al.* (2008), donde la fluctuación fue 24 a 45. Ramírez *et al.* (2007), encontraron una deposición de K vía hojas de hojarasca de 10, 6 y 291 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para bosques de roble, pino pátula y ciprés, respectivamente. Del Valle-Arango (2003), encontró una producción de este elemento de 4, mientras que Gómez y Preston (1996), reportaron en la hojarasca un contenido de K de 18.9 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en *Gliricidia sepium*.

Con respecto al aporte de Mg vía hojas en los sitios de estudio presentaron el siguiente orden de deposición: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela. Los aportes fluctuaron de 4.5 a 22.6 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. González *et al.* (2006), reportan deposiciones de Mg hasta de 4 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otra parte, Dezzeo y Chacón (2006), en un estudio realizado en un bosque primario en la Gran Sabana, al sureste de Venezuela, documentan deposiciones de Mg hasta de 12 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Kadeba y Aduayi (1985), reportan una deposición de Mg de 19 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en *Pinus caribaea* en Nigeria, mientras que Gómez y Preston (1996), encontraron la misma deposición, sólo que en banco de proteína de *Gliricidia sepium*.

La deposición anual de N en los sitios de estudio presenta el siguiente orden: Campus ≥ Crucitas > Cascajoso > Bosque Escuela. La mayor (85) y menor (18) deposición de este elemento correspondió a Campus y Bosque Escuela, respectivamente. Pavón *et al.* (2005), encontraron una deposición de N en la hojarasca de *Mimosa luisana* en una región semiárida de México de 6.5 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Del Valle-Arango (2003), reporta una producción de 116, mientras que Kadeba y Aduayi (1985) y Gómez y Preston (1996), detectaron una deposición de 60 y 51, respectivamente. Dezzeo y Chacón (2006), reportaron valores que van de los 30 a 46 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Para el caso del micronutriente Cu, este presentó el siguiente orden de aporte anual en los sitios de estudios: Cascajoso > Crucitas > Campus > Bosque Escuela. La mayor y menor deposición total anual de este micro-nutriente se encontró en el sitio Cascajoso con  $0.44 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y en el sitio Bosque Escuela, con 0.08, respectivamente. Del Valle-Arango (2003), reporta una producción de 70 unidades en este elemento. En investigaciones realizadas por Ramírez *et al.* (2007), encontraron valores de Cu en un bosque de roble, de pino pátula y ciprés de 90, 30 y  $40 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , respectivamente. En tanto González *et al.* (2006), al estudiar el aporte anual de micronutrientes en el Noreste de México encontró una producción anual de Cu que fluctuó de 49 a  $67 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

En lo que se refiere al micronutriente Fe, el orden de deposición anual total para los sitios de estudio fue el siguiente: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela. La variación en la deposición va de los 2.7 (Bosque Escuela) a 11.2 (Cascajoso)  $\text{g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Por su parte, González *et al.* (2006), encontraron una deposición de Fe que fluctuó de 607 a  $1965 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que Ramírez *et al.* (2007), observaron deposiciones de 700, 630 y  $420 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en bosques de roble, pino pátula y ciprés, respectivamente. Del Valle-Arango (2003), observó una producción de este elemento de 730 unidades. Hagen *et al.* (2006), estudiaron la deposición en tres especies forestales deciduas encontrando deposiciones que van de 0.84 a  $2.08 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que Xiaoni *et al.* (2004), reportan valores de  $860 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en un bosque subtropical en la isla de Okinawa, Japón.

En lo que se refiere a la deposición anual de Mn en los sitios de estudio, el orden de aporte se dio como sigue: Crucitas > Cascajoso > Bosque Escuela > Campus. La deposición fluctuó de 1.49 a  $9.90 \text{ g ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el sitio Crucitas y

Campus, respectivamente. González *et al.* (2006), reportan deposiciones de Mn que van de 131 a 275 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que Del Valle-Arango (2003), encontró en un estudio una deposición de hasta 930 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de Mn. Hagen *et al.* (2006), estimaron una deposición de 27 a 458 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Xiaoniu *et al.* (2004), observaron valores de hasta 3910 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de Mn.

La deposición anual de Zn en los sitios de estudios presentó el siguiente orden: Cascajoso > Campus > Crucitas > Bosque Escuela; detectándose la mayor deposición de este elemento en el sitio Cascajoso y la menor deposición se presentó en Bosque Escuela con valores 1.3 y 0.54 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. González *et al.*, (2006), encontró una variación en el aporte de Zn vía el componente hojas de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco, Noreste de México, de 291 a 660 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que Del Valle-Arango (2003), cuantificó una deposición de 230 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de este elemento. Por su parte, Ramírez *et al.* (2007), en un estudio realizado en Colombia en tres tipos de bosque (bosque de roble, pino pátula y ciprés), encontraron un retorno de este micro-nutriente de 260, 380 and 200 g ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente.

Las observaciones encontradas en la presente investigación confirman la importancia del contenido y deposición de nutrientes a través de las hojas, tejido vegetal donde se lleva a cabo la mayoría de los procesos fisiológicos, específicamente la fotosíntesis, el cual determina la productividad primaria neta. Por tanto, los diversos constituyentes de la hojarasca depositados a lo largo del periodo experimental, producen una capa orgánica sobre la superficie del suelo, la cual, a través de su descomposición por la actividad de microorganismos (Ormeño *et al.*, 2006) y factores ambientales tales como el viento, la radiación solar, la lluvia, la

humedad del suelo (Kapos,1989; Matlack,1993; Turton y Freiburger, 1997)., tendrá un efecto positivo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y consecuentemente, determinará el potencial de las especies para mejorar la calidad de la fertilidad del suelo y productividad en un ecosistema (Semwal *et al.*, 2003).

Dado que se observaron picos en los contenidos de nutrientes como es el caso de K (Figura 9b), P (Figura 10b), Fe (Figura 12b), y Mn (Figura 13b), a diferencia de Ca, Mg, N, Cu y Zn, los cuales mostraron contenidos constantes durante el periodo experimental, estos resultados pueden hipotetizar que los altos contenidos de K, P, Fe y Mn estén asociados a procesos de translocación y compartimentación de estos elementos hacia la hoja antes de su abscisión, a la promoción de procesos fenológicos y/o fisiológicos, o bien a condiciones ambientales que permitieron una alta disponibilidad y consecuentemente una mayor absorción de estos nutrimentos. Aunque en el presente estudio el contenido de nutrientes no se estimó en otros constituyentes de la hojarasca, tales como ramas, estructuras reproductivas y otros, o bien en estructuras vivas de las plantas, estos enunciados, preguntas y supuestos descritos pueden servir de base para futuras investigaciones. No obstante, otras investigaciones han demostrado que la concentración de nutrimentos es más alta en las hojas que en otros componentes (Yang *et al.*, 2006).

Lo que se considera como un mecanismo fisiológico del ciclo de nutrimentos entre estructuras vegetales debido a procesos de translocación de tejidos viejos (menos activos, *e.g.*, hojas maduras y ramas) a jóvenes o de demanda (*e.g.*, brotes vegetativos y/o reproductivos), estas estructuras juegan un papel muy importante para mantener los niveles de nutrimentos en las especies deciduas y con ello evitar su translocación y/o pérdida a través de la abscisión foliar (Duchesne *et al.*, 2001).

En este contexto, se puede inferir que las especies maderables del sitio Bosque Escuela (constituido por encima de 70% de especies maderables) podrían ser más eficientes en los procesos de translocación de nutrimentos en comparación con las especies de plantas de los otros sitios. Estas suposiciones se pueden fundamentar con el uso más eficiente de nutrientes detectado en el Bosque Escuela respecto a los otros sitios (Cuadro 12). Adicionalmente, estas inferencias también se sustentan con el contenido y deposición anual observada en los nutrimentos estudiados en el Bosque Escuela, respecto a los sitios (Figuras 9-13 y Cuadro 12). Sin embargo, este enunciado habrá que tomarlo con reserva debido a que la deposición de nutrimentos depende de la edad del tejido foliar o estructura, época del año, herbivoría, así como de las características edáficas y climáticas del sitio de estudio.

El alto valor estimado en el uso eficiente del P para el sitio Bosque Escuela sugiere que este nutrimento esté disponible a muy bajos niveles en la solución del suelo o bien, se transporte del tejido foliar al tallo, ramas o a otras estructuras de la planta y permanezca inactivo, así que nuevas hipótesis son necesarias a establecer para conocer los mecanismos de translocación de este nutrimento como ha sido señalado previamente (Duchesne *et al.*, 2001; Read y Lawrence, 2003; Dent *et al.*, 2006). Por otro lado, el bajo contenido de N observado en las hojas (Figura 11) y su baja deposición anual (Cuadro 12) registrada en el Bosque Escuela respecto a los sitios Crucitas, Campus y Cascajoso podrían estar asociados a la capacidad del potencial de fijación del nitrógeno simbiótico (Zitzer *et al.*, 1999) de las especies de la familia Fabaceae que fueron registradas en los sitios Crucitas, Campus y Cascajoso. Al respecto, la familia Fabaceae representó el 4% del de las especies en el terreno experimental, mientras que en Crucitas, Campus y Cascajoso esta proporción

taxonómica alcanzó valores del 20, 25 y 12%, respectivamente. Se sabe que las especies de la familia Fabaceae en suelos fértiles tienden a producir hojas con alto contenido de nitrógeno que, a su tiempo, se descomponen rápidamente y ayudan a la planta a tener una alta producción y rápida foliación lo que repercute en una gran cantidad de reservas de nutrimentos (Forrester *et al.*, 2005; Rothe y Binkley, 2001; Sariyildiz y Anderson, 2005). Vera *et al.* (1999), señalan que los bosques mixtos que presentan especies fijadoras de N, aumentan y mejoran el ciclo de nutrimentos con la caída de la hojarasca respecto a monocultivos que tienen menos especies fijadoras de N. Los valores del contenido de N en el sitio Bosque Escuela, coinciden con los observados en la fracción foliar en bosque naturales (Vera *et al.*, 1999). Read y Lawrence (2003), proponen que la limitación de nutrimentos en el trópico seco está relacionada con la deficiencia de agua, debido a que las condiciones con escasa humedad evitan la absorción de nutrimentos de suelo y en consecuencia afectan la mineralización y liberación de los mismos, demorando de esta manera la descomposición de la hojarasca.

Cabe señalar que la vegetación nativa en el Noreste de México, se caracteriza por estar compuesta principalmente por especies que tienen una producción baja en biomasa (Villalón, 1989) debido a que durante la temporada seca, las plantas tienen que competir entre ellas por la baja disponibilidad hídrica, soportar temperaturas extremas y alta radiación solar, y enfrentar sequías frecuentes y prolongadas (González *et al.*, 2000; 2004), lo que permitirá la abscisión y caída de estructuras vegetales y consecuentemente aumentar la producción de hojarasca, como mecanismos morfológicos para evitar la deshidratación y pérdida de agua por el flujo transpiracional.

Sobre una base anual, la deposición de hojarasca total y sus respectivos componentes tales como las hojas, estructuras reproductivas y demás componentes observados en los sitios Campus y Cascajoso están dentro del rango valores documentados por González *et al.* (2008).

## 6. IMPLICACIONES

Los resultados de este estudio sugiere la importancia de la producción de la caída de hojarasca, no solo en términos del ciclo de nutrientes hacia el suelo de los bosques ó en diferentes comunidades, sino que también para mantener los procesos fundamentales de los ecosistemas y la ecología, tales como la formación del suelo, prevención de la erosión, mantenimiento de la fertilidad y sustratos para la planta y especies microbiales, sostener y ayudar a la vida de vertebrados (fauna), aumentar la mineralización de materia orgánica, mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como disposición de agua y filtración para aumentar la absorción de nutrientes, la regeneración de la planta y pastura, desarrollo de la raíz, entre otros. Todas ellas están relacionadas e integradas a sostener y mantener la biodiversidad y la productividad del ecosistema.

Es por ello que se necesitan investigaciones que muestren que existe una tendencia hacia la autosuficiencia de los diferentes ecosistemas estudiados, principalmente debido al ciclaje de nutrientes, ya que ello ayuda a explicar cómo es que un ecosistema se puede mantener por sí mismo, mientras no haya alteraciones antrópicas.

Este tipo de estudios aunados a los de la descomposición de la hojarasca, los cuales son escasos en los diferentes ecosistemas de México, abren nuevas oportunidades y horizontes de investigación para los diferentes tipos de vegetación que predominan en el Noreste de México.

El Noreste de México proporciona una oportunidad para investigar no solo el aporte de los diferentes constituyentes de la hojarasca tales como hojas, ramas,



inflorescencias, frutos, semillas, entre otros, sino que también, se puede caracterizar el aporte de nutrimentos por especie y época del año a través de cada uno de sus componentes y así obtener nuevos conocimiento de los procesos vitales en un ecosistema como lo son los patrones de productividad vegetal y fertilidad de suelos, ya que estos son importante porque permiten entender el potencial de las plantas para aprovechar los recursos del sitio. Esta información es clave en el entendimiento de la ecología de las especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas. Además, la sociedad se beneficia directamente porque dan bases para el manejo y aprovechamiento sustentable de diferentes bienes y servicios que ofrecen las comunidades vegetales.

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados emanados de la presente investigación demuestran que la deposición de los diversos constituyentes de la hojarasca, de una comunidad vegetal dada, cumplen con una función en un escenario cambiante y complejo que cada vez requiere más atención para entender el funcionamiento de los ecosistemas y ciclaje de nutrientes, ya que por medio de la hojarasca se regenera el suelo, se evita la erosión, se mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo y se mantiene la fertilidad del mismo, además que ayuda a sostener la vida de la fauna heterótrofa.

La acumulación de la caída de la hojarasca es un proceso vital de la ecología y funcionamiento de bosques y por ello en la primera hipótesis planteada en la presente investigación demuestran que el tipo de comunidad vegetal influye en la producción de la hojarasca y que, por tanto, cada sitio de estudio produce cantidades diferentes, ya que los resultados observados en este estudio revelaron que existe una variación espacial y temporal, en la deposición de cada componente de la hojarasca a través del periodo de estudio. Así mismo, en lo que respecta a la segunda hipótesis planteada se logró detectar que hay diferencias en la deposición de la calidad de las hojas medida a través del aporte de nutrimentos. Esto nos indica que, por tanto, los sitios de estudio difieren en el retorno potencial de nutrimentos en las diferentes comunidades vegetales. Dichas observaciones confirman la importancia de la concentración y deposición de bioelementos a través de las hojas, como el principal constituyente de la hojarasca.

Las fluctuaciones del contenido de nutrimentos posiblemente se relacionan con la fenología de cada especie que crece y se desarrolla en cada uno de los sitio

de estudio, a procesos y factores biológicos tales como longevidad de estructuras vegetales, a los cambios estacionales, a las variaciones de temperatura, precipitación, y a las condiciones edáficas del sitio.

Estos resultados confirman la importancia ecológica a través de las diferentes deposiciones de los componentes de la hojarasca en la productividad primaria neta y la fertilidad del suelo como indicadores de sustentabilidad de las diferentes comunidades vegetales estudiadas.

## 8. LITERATURA CITADA

- Albrektson, A. 1988. Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* L. in relation to site quality, stand age and latitude. Scandinavian Journal of Forest Research. 3:333-342.
- Alpizar, L., Fassbender, H.W., Heuveldop, J. 1983. Estudio de sistemas agroforestales en el experimento Central del CATIE, Turrialba, 1. Determinación de biomasa y acumulación de reservas nutritivas (N, P, K, Ca, Mg). Turrialba, Costa Rica. 28 p.
- Anderson, J.M., Switft, M.J. 1983. Decomposition in tropical forest. *In*: S.L. Sutton, T.C. Whitmore y A.C. Chadwick (eds.), Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Blackwell, Oxford. 287-309.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 832 pp.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. 1996. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: fine litter production and composition at Apiaú, Roraima, Brazil. Tropical Ecology. 37:115-125.
- Blake, R.G., Hartge, H.K. 1986. Methods of soil analysis. Bulk density. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. 363-367 pp.
- Bosco, I.J., Blanco, A.J., Castillo, F.J. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S.A., Madrid. pp. 479-506.

- Bracho, R., Puig, H. 1987. Producción de hojarasca y fenología de 8 especies del estrato arbóreo. El bosque mesófilo de montaña. Reserva "El Cielo", al desarrollo del plan de acción de las reservas de la biosfera (MAB/UNESCO). Instituto de Ecología. México, D.F. pp. 81-106.
- Bravo Garza, M.R. 1999. Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el Estado de Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, NL. 84 pp.
- Brown, M.B., Forsythe, A.B. 1974. Robust tests for the equality of variances. Journal of the American Statistical Association. 69:364-367.
- Brown, S., Lugo, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica 14: 161-187.
- Campos, G.J., Camarero, J.J. Gutiérrez, E. 1998. Crecimiento estacional y caída de Acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. Investigaciones Agrícolas: Sistema de Recursos Forestales. 7:156-172.
- Castillo, F.J., Imbert, J.B., Blanco, J.A., Traver, C., Puertas, F. 2003. Gestión forestal sostenible de masas de pino silvestre en el Pirineo Navarro. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente (Ecosistemas). 3:1-9 pp.
- Cavazos, P.T., Molina, G.V. 1992. Registros Climatológicos de la Región Citrícola de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, Boletín Técnico No. 1. 65 pp.
- Chapin, F.S., Matson, P.A., Mooney, H.A. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer, New York, USA.
- Cole, D.W., Rapp, M. 1981. Elemental cycling in forested ecosystems. En Reichle, D.E. (Ed.) Dynamic Properties of Forest Ecosystems. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 341-409 pp.

- Constanza, R., Darge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253-260.
- Cordero, J., Mesén, F., Montero, M., Stewart, J., Dossier, D., Chanberlain, J., Pennington, T., Hands, M., Hughes, C., Detlefsen, G. 2003. Descripciones de especies de árboles nativos de América Central. In Cordero, J., Boshier, D, H. (eds). *Árbol de Centro América: un Manual para Extensionistas*. Oxford, UK.FRP. OFI/CATIE. 311-958 pp.
- Del Valle-Arango, J.I. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del pacífico sur Colombiano. *Interciencia*. 28:443-449.
- Dent, D.H., Bagchi, R., Robinson, D.R., Majalap, L. N., Burslem, D.F.R.P. 2006. Nutrient fluxes via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. *Plant and Soil*. 288:197-215.
- Dezzeo, N., Chacón, N. 2006. Litterfall and nutrient input in undisturbed and adjacent fire disturbed forests of the Gran Sabana, Southern Venezuela. *Interciencia*. 31:894-899.
- Di Stefano, J.F., Fournier, L.A. 1998. Biomasa aérea, concentración de nutrientes y daños en árboles de *Vochysia guatemalensis*, en un monocultivo de cuatro años, Tabarcia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 22:235-241.

- Di Stefano, J.F., Fournier, L.A. 2005. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años, Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29:9-16.
- Didham, R. 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia*. 116:397-406.
- Domínguez, G.T.G., González, R.H. 2002. Perfil nutricional foliar en dos especies de importancia agroforestal. Memoria del XII Verano de la Investigación Científica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. pp 221-227.
- Duchesne, L., Ouimet, R., Camiré, C., Houle, D. 2001. Seasonal nutrient transfers by foliar resorption, leaching, and litter fall in a northern hardwood forest at Lake Clair watershed, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. 31:334-344.
- Escudero, A., del Arco, J.M., Sanz, I.C., Ayala, J. 1992. Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia*. 90:80-87.
- Fassbender, H.W. 1996. Modelaje de la Fertilidad del suelo y de la Productividad de Sistemas de Producción Agropecuarios en América Latina. Conferencia del XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 4-8 de agosto de 1996. Aguas de Lindoia, San Paulo, Brasil.
- Fernández, R., Martiarena, M., Lupi, A., Goya, J., Frangi, J., Bernio, J., Kuzdra, H. 2000. Biomasa aérea y caída de hojarasca en plantaciones diferentes edades de *Araucaria angustifolia*. Resultados iniciales. Decimas Jornadas Forestales y

- Ambientales-Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UnaM-EEA-Montecarlo-INTA. El dorado, Misiones, Argentina. 9 pp.
- Forrester, D.I., Bauhus, J., Cowie, A.L. 2005. Nutrient cycling in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. Canadian. Journal of Forest Research. 35:2942-2950.
- Fournier, L.A. 1976. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo premontano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Turrialba. 26:54-59.
- Frankie, G.W., Baker, H.G., Opler, P.A. 1974. Comparative phenological studies of trees tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. Journal of Ecology. 62:881-919.
- Gallardo, A. 2001. Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional (eds. Zamora, R., Pugnaire, F. I.). Textos Universitarios nº32, CSIC y AEET, Castillo y Edisart, S. L., España. 95-122 pp.
- Gallardo, J.F., Santa, R.I., Harrison, A.F., Howard, D.M. 1995. Organic matter and nutrient dynamics in terre ecosystems of the “Sierra de Bejar” mountains Salamanca province, Spain. Acta Oecologica. 16:447-459.
- Gasparri, N.I., Manghi. E., Montenegro, C., Parmuchi, M.G. Bono, J., Strada M. 2005. Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de los bosques nativos en las regiones forestales argentinas. 3<sup>er</sup> Congreso Forestal Argentino, del 6 al 9 de septiembre del 2005. Corrientes, Argentina.
- Gayoso, A.J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Trabajo presentado en Taller Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela. Universidad Austral de Chile. 22 pp.



- Gee, W.G. Bauder, W.J. 1986. Particles size analysis. Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods (Ed. A. Klute), pp. 383-411. American Society of Agronomy, Madison. Wisconsin.
- Gliessman, S.R. 2002. Agroecología: Proceso ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 359 p.
- Gómez, E.M., Preston, T.R. 1996. Ciclaje de nutrientes en un banco de proteína de matarratón (*Gliricidia sepium*). Livestock Research for Rural Development. 8:1-13.
- González, H.R., Cantú Silva L., Gómez Meza, M.V., Ramírez Lozano, R.G., Uvalle Saucedo, J.I. 2006. Producción de hojarasca y reciclado de nutrientes en el Matorral Espinoso Tamaulipeco en el Noreste de México. Memoria del 2do Congreso Latinoamericano IUFRO. La Serena, Chile. Octubre del 2006. pp 296.
- González, H.R., Cantú Silva, I., Ramírez Lozano, R.G., Gómez Meza, M.V., Domínguez Gómez, T.G., Bravo Garza, J., Maiti, R.K. 2008. Spatial and seasonal litterfall deposition pattern in the Tamaulipan thorscrub, Northeastern México. International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology. 1:177-181.
- González, M.I.M., Gallardo, J.F. 1982. El efecto hojarasca: una revisión. Anales de Edafología Agrobiología. 41:1129-1157.
- González, R.H., Cantú, S.I., 2001. Adaptación a la sequía de plantas arbustivas del matorral espinoso tamaulipeco. CIENCIA UANL. 4:454-461.

- González, R.H., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., Jordan, W.R., 2000. Seasonal plant water relationships in *Acacia berlandieri*. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 14:343-357.
- González, R.H., Cantú, S.I., Gómez, M.M.V., Ramírez, L.R.G., 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 58:483-503.
- Granados, S., López, R. 2000. Sucesión ecológica dinámica del ecosistema. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 105 p.
- Gressel, N., Mccoll, J.G., McGrath, A.E. 1995. Spectroscopy of aqueous extracts of forest litter. II. Effects of management practices. *Soil. Science. Society of America Journal*. 59:1723-1731.
- Groom, M., Schumacher, N. 1993. Evaluating landscape change: patterns of worldwide deforestation and local fragmentation. En *Biotic interactions and global change*. (Kareiva, P., Kingsolver, J. G. y Huey, R., eds.), Sunderland, MA, pp. 24-44.
- Hagen, T.A., Varnagiryte, I., Nihlgård. B., Armolaitis, K. 2006. Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest: Ecology and Management*. 228:33-39.
- Harrison, S., Davies, K., Safford, H., Viers, J. 2006. Beta diversity and the scale-dependence of the productivity-diversity relationship: a test in the Californian serpentine flora. *Journal of Ecology*. 94:110-117.
- Hernández, E. 2006. Aspectos morfométricos y dinámica de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de *pinus* spp. de la región de el Salto,

- Pueblo Nuevo, Durango. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico del Salto. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. 73 p.
- Hernandez, F.J., Agustin, M.J., Martinez, P.J., Cruz, C.F., Graciano, L.J.J. 2007. Biomasa en el suelo superficial en rodales naturales de la region de el Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Memorias del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. del 28 al 31 de Octubre del 2007. Morelia, Michoacán. pp.110.
- Hernández, I.M., Santa Regina, I., Gallardo, J.F. 1992. Dinámica de la descomposición de la hojarasca forestal en bosques de la Cuenca del Duero (Provincia de Zamora): Modelización de la pérdida de peso. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 6:339-355.
- Huang, W.Z., Schoenau, J.J. 1997. Mass loss measurements and statistical models to predict decomposition of leaf litter in a boreal aspen forest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 28:863-874.
- INEGI. 2001. Cartas topográficas y edafología de Linares. 1:50,000, G14C59, Segunda Edición.
- Jordan, C.F. 1982. The nutrient balance of an Amazonian rain forest. *Ecology*. 63:647-654.
- Jorgensen, J.R., Well, C.G., Metz, L.J. 1975. The nutrient cycle: key to continuous forest production. *Journal of Forestry*. 73:400-403.
- Kadeba, O., Aduayi, E.A. 1985. Impact on soils of plantation of *Pinus caribaea* in natural tropical savannas. *Forest Ecology and Management*. 13:27-29.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*. 5:173-185.

- Krebs, C.J. 2001. Ecology. Addison Wesley Longman Inc, San Francisco, USA. Nueva York, NY. 345 pp.
- Landsberg, J., Gower, S. 1997. Applications of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press. San Diego, California. 364 pp.
- Lemee, G. 1982. Recherches sur les écosystemes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. VIII. Elements du bilan d' azote du sol. Rev. Ecol. Biol. Sol. 19:485-499.
- Liu, W., Fox, J.E.D., Xu, Z. 2003. Litterfall and nutrient dynamics in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains, SW China. Journal of Plant Ecology. 164:157-170.
- Lovejoy, T.E., Bierregaard, R.O., Rylands, A.B., Malcom, J.r., Quintela, C.E., Harper, L.H., Brown, Jr., Powell, A.H, Powell, G.V.N., Schubart, H.O.R., Hays, M.B. 1986. Edge and other effects of isolation on amazon forest fragments. In Conservation biology: the Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 257-285.
- Lugo, A.E., Cuevas, E., Sánchez, M.J. 1990. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. Plant and Soil. 125:263–280.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Matlack, G. 1993. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. Biological Conservation. 66:185-194.
- McMurtry, C.R., Barnes, P.W., Nelson, J.A., Archer, S.R. 1996. Physiological responses of woody vegetation to irrigation in a Texas subtropical savanna. La Copita Research Area: 1996 Consolidated Progress Report. Texas Agricultural

- Experiment Station, Corpus Christi, Texas A&M University System, College Station, Texas, USA. 33-37 pp.
- Melillo, J., Aber, J. 1982. Nitrogen and ligning control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. 63:621-626.
- Menon, R.G., Hammond, L.L., Sissingh, A.H. 1989 Determination of Plant-available Phosphorus by the Iron Hydroxid-impregnated filter paper (Pi) Soil Test. *Soil Science Soc. of America J.* 53: 110-115.
- Montagnini, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management*. 134:257-270.
- Montagnini, F., Jordan, C. 2002. Reciclaje de nutrientes. *In* Guariguata, M. R; Kattan, G.H. eds. *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales*. Cartago, CR. LUR. 167-190 pp.
- Moreno, M.G. 1994. Balances de Agua y Nutrientes en Rebollares (*Quercus pirenaica Willd.*) de la Vertiente Salmantina de la Sierra de Gata. Tesis. Universidad de Salamanca. España. 470 pp.
- Moretto, A., Lázzari, A., Fernández, O. 2005. Calidad y cantidad de nutrientes de la hojarasca y su posterior mineralización en bosques primarios y bajo manejo con distintos sistemas de regeneración. MÓDULO 1: "Aplicación de sistemas de regeneración con retención dispersa y agregada en bosques de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego. Módulo Lenga – Subproyecto 5 PIARFON BAP-2005. (Tomo I). EEA Santa Cruz. Río Gallegos. UNPA. CADIC. AR. 2:253-275.

- Mosquera, Q.H., Palacios, R.A., Bonilla, A.D. 2007. Cuantificación de la caída de la hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Choco, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Choco*. 26:28-41 pp.
- Mtambanengwe, F. Kirchmann, H. 1995. Litter from a tropical savanna woodland (Miombo): Chemical composition and C and N mineralization. *Soil biology Biochemistry*. 27:1639-1651.
- Nájera, L.J. 1999. Ecuaciones para estimar biomasa, volumen, y crecimiento en biomasa, y captura de carbono en diez especies típicas del matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. 93 pp.
- Newbould, P.J. 1967. Methods for Estimating the Primary Production of Forests. IBP Handbook N°2. Blackwell. Oxford, UK. 62 pp.
- Noy, M.I. 1985. Desert ecosystem structure and function. In: Evenari, M., Noy, Meir, I. (Eds.), *Hot Deserts and Arid Scrublands, Ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam, 120:93-101.
- Ormeño, E., Baldy, V., Ballini, C., Larchevêque, M. Périssol, C. Fernández, C. 2006. Effects of environmental factors and leaf chemistry on leaf litter colonization by fungi in a Mediterranean shrubland. *Pedobiologia*. 50:1-10.
- Ott, L. 1993. An introduction to statistical methods and data analysis. 775. 2<sup>nd</sup> Edn., Duxbury Press. Boston, Massachusetts.
- Palacios, B.A.P. 2002. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque maulino fragmentado. Departamento de Ciencias Ecologicas, Facultad de

- Ciencias, Universidad de Santiago de Chile. Seminario de Título, Biología Ambiental. 18 pp.
- Palma, R.M., Defrieri, R.L., Tortarolo, M.F., Prause, J., Gallardo, J.F. 2000. Seasonal changes of bioelements in the litter and their potential return to green leaves in four species of the Argentine subtropical forest. *Annals of Botany*. 85:181-186.
- Parker, G.G. 1994. Soil fertility, nutrient acquisition, and nutrient cycling. En McDade, L., Bawa K.S., Hespenheide, H.A., Harshorn, G. S. (Eds.). *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*. University of Chicago Press. Chicago. 53-63 pp.
- Pavón, H.N., Briones, V.O., Flores, R.J. 2001. Producción de hojarasca y su contenido de nitrógeno en un matorral Xerófilo del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. *Memorias del XV Congreso Mexicano de Botánica México*. Querétaro del 14 al 19 de Octubre del 2001.
- Pavón, H.N., Briones, V.O., Flores, R.J. 2005. Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments*. 60:1-13.
- Pereira, H.M., Daily, G.D. 2006. Modeling biodiversity dynamics in countryside landscapes. *Ecology*. 87:1877-1885.
- Prause, G.J., Arce, C., Angeloni, P.N. 2003. Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del Parque Chaqueño Húmedo (Argentina). *Revista de Ciencias Forestales-Quebracho*. 10:39-45.
- Prause, J., Palma R.M., Adámoli J.M. 1997. Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en un monte nativo del parque chaqueño húmedo. Tesis. UBA. FA, Universidad de Buenos

- Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados, Magister Scientiae  
 área Ciencias del Suelo, Buenos Aires Argentina. 205 pp.
- Pritchett, W.L. 1991. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento.  
 Editorial LIMUSA. México. 643 pp.
- Quinto, M.H., Ramos, P.Y.A., Abadía, B.D. 2007. Cuantificación de la caída de la  
 hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial  
 tropical en Salero, Chocó, Colombia. Revista Institucional Universidad  
 Tecnológica del Chocó D.L.C. 26:28-41.
- Rai, S.N., Proctor, J. 1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India  
 II. Litterfall. Journal of Ecology. 74:455-463.
- Ramírez, J.A., Zapata, D.C.M., León. P.D.J., González, H.I.M. 2007. Caída de  
 hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras  
 Blancas, Antioquia, Colombia. Interciencia. 32:303-311.
- Read, L., Lawrence, D. 2003. Litter nutrient dynamics during succession in dry  
 tropical forests of the Yucatan: regional and seasonal effects. Ecosystems.  
 6:747-761.
- Reid, N., Marroquín, J., Beyer, M.P. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse,  
 fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern Mexico.  
 Forest Ecology and Management. 36:61-79.
- Rico, G.V., Lot, A. 1983. Producción de hojarasca del Manglar de la laguna de la  
 mancha, Veracruz, Mexico. Biotica. 8:295-301.
- Robles, C., Barea, J.M. 2006. Deposición de la hojarasca y reciclamiento de  
 nutrientes en un ecosistema mediterráneo. Memoria del II Congreso Ibérico de  
 la Ciencia del suelo. Huelva, España.



- Robles, C., Robles, M.L. 2007. Caída de bromelias, deposición de hojarasca y reciclamiento de nutrientes en un bosque de Pino Encino. Memoria del XVII Congreso Latinoamericano de Ciencia de Suelo del 17 al 21 de Septiembre del 2007. León, Guanajuato, México. 1379-1381 pp.
- Robles, P., Ezcurra, E., Peters, E., Escurra, A. 2004. La gran provincia natural Tamaulipeca. Gobierno del Estado de Tamaulipas. Agrupación Sierra Madre. 329-333.
- Roda, F. 1993. Funcionamiento de ecosistemas forestales: La circulación de nutrientes. 1<sup>er</sup> Congreso Forestal Español del 14 al 18 de Junio de 1993. Lourizán, Pontevedra, España. 4:529-542.
- Roda, F., Retana, J., García, C.A., Bellot, J. 1999. Ecology of Mediterranean Evergreen Forests. Ecological studies, Springer, Berlin Alemania. 137 pp.
- Rothe, A., Binkley, D., 2001. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. Canadian Journal of Forest Research. 31:1855-1870.
- San Martín, J., Donoso, C. 1996. Estructura florística e impacto antrópico en el bosque Maulino de Chile. En Ecología de los bosques nativos de Chile. (Armesto, J. Villagrán, C. y M. K. Arroyo, eds.). Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 153-168 pp.
- Sánchez, B.M., Borges, P.T.D., Peral, C.F., Tamburin, C.A.R., Caseri, R., Berazain, R.I. 2003. Producción de hojarasca en un bosque semideciduo estacional en Sao Pedro, Potirendaba, Estado de Sao Paulo, Brasil. Revista de Jardín Botánico Nacional. 24:173-176.
- Sánchez, J.F., Moreno, R.A., Muñoz, F. 1993. *Erythrina fusca*: un árbol leguminosa de la costa norte de Colombia con potencial agroforestal. In Westley, S. B.,

- Powell, M. H. (eds) *Erythrina in the New and old worlds*. Hawaii, US. NFTA. 55-61 pp.
- Santa Regina, I. 1987. Contribución al estudio de la dinámica de la materia orgánica y bioelementos en bosques en la Sierra de Béjar. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 464 pp.
- Santa Regina, I. 2000. Organic matter distribution and nutrient fluxes within a sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) stand of the Sierra de Gata, Spain. *Annals of Forest. Science*. 57:691-700.
- Santa Regina, I., Gallardo, J.F. 1989. Ciclos biogeoquímicos en bosques de la Sierra de Bejar (Provincia de Salamanca). *Options Méditerranéennes Série Séminaires*. 3:147-149.
- Santa Regina, I., Tarazona T. 2001. Nutrient cycling in a natural beech forest and adjacent planted pine in northern Spain. *Forestry*. 74:11-28.
- Sariyildiz, T., Anderson, J.M., 2005. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management*. 210:303-319.
- Schlatter, J.E., Grez, R., Gerding, V. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.
- Schlatter. J., Gerding V., Calderón S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque (Valdivia)*. 27:115-125.

- Semwal, R.L., Maikhuri, R.K., Rao, K.S., Sen, K.K., Saxena, K.G. 2003. Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multipurpose tree species of central Himalaya, India. *Biomass and Bioenergy*. 24:3-11.
- Silva, I.C. y González, H.R. 2001. Interception loss, throughfall and stem flow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico. *Tree Physiology*. 21:1009–1013.
- Spain, A.V. 1984. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforests. *Journal of Ecology* 72: 947-961.
- SPP-INEGI. 1986. Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Geografía e Informática, México.
- SPPS, 2000. Statistical Package for the Social Sciences. Standard released version 13 for Windows, SPPS Inc., Chicago, IL. USA.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, (2nd Edn). New York, NY: McGraw-Hill Book Company. 633 p.
- Steubing, L., Godoy, R., Alberdi, M. 2001. Métodos de Ecología Vegetal.: Editorial Universitaria Santiago, Chile 345 pp.
- Stienen, H., Smits, M.P., Reid, N., Landa, J., Boerboom, J.H.A. 1989. Ecophysiology of 8 woody multipurpose species from semiarid northeastern Mexico. *Annales des Sciences Foestières*. 46:454-458.
- Strojan, C.L., Turner, F.B., Caster, R. 1979. Litter fall from shrubs in the northern Mojave desert. *Ecology*. 60:891-900.

- Sundarapandian, S.M., Swamy, P.S. 1999. Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forest at Kodayar in the Western Ghats, India. *Forest Ecology and Management*. 123:231-244.
- Torres, R.J.M., Guevara, S.A. 2005. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Instituto Nacional de Ecología. 22. pp.
- Turton, S.M., Freiburger, H.J. 1997. Edge and aspect effects on the microclimate of a small tropical forest remnant on the Atherton Tableland, Northeastern Australia. In *Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities*. Laurence, W.F. y Bierregaard, R.O.Jr. eds. University of Chicago Press. Chicago, 45-54 pp.
- Uvalle, S.J.I. 2008. Características fisiológicas y nutrimentales en especies arbustivas forrajeras nativas de la flora del noreste de México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 171 pp.
- Vargas, L.B. 1999. Caracterización de la productividad y estructura de *Pinus hartwegii* Lindl en tres gradientes altitudinales en el cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, Nuevo León. 93 pp.
- Vargas, P.L., Varela, A. 2007. Producción de hojarasca de un bosque de niebla en la reserva natural la planada (Nariño, Colombia). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias*. Edición especial I, 12:35-49.

- Vazconcelos, H.L., Luizão, F.J. 2004. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian Landscape. *Ecological Applications*. 14:884-892.
- Vera, M., Cavelier, J. Santamaría, J. 1999. Reabsorción de nitrógeno y fósforo foliar en árboles de bosques montanos en los Andes Centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 47:33-43.
- Villalón, H.M. 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N.L., Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 39., 165.
- Vitousek, P. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American naturalist*. 119: 553-572.
- Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*. 65:285-298.
- Vitousek, P.M., Sanford, R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 17:137-167.
- Wackerly, D. D., Mendenhall, W., Scheaffer, R. L. 2002. *Estadística Matemática con Aplicaciones*. 6ta Edición. Editorial Thomson. International. México. 872 pp.
- Whitmore, T.C. 1997. Tropical Forest Disturbance Disappearance, and Species Loss. En *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*. (Laurence, W. F., Bierregaard, R. O., eds.). Chicago University of Chicago Press. 616 pp.

- Woerner, P.M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México. 104 pp.
- Wright, J. 1996. Plant species diversity and ecosystem functioning in tropical forests. Orians, G. H., Dirzo, R., Cushman, J. H. (Eds.) Biodiversity and Ecosystem Processes in Tropical Forests. Springer. Berlín, Alemania. pp. 12-31.
- Xiaoniu, X., Hirata, E., Shibata, H. 2004. Effect of typhoon disturbance on fine litterfall and related nutrient input in a subtropical forest on Okinawa Island, Japan. Basic and Applied Ecology. 5:271-282.
- Xibiao, Z., Shuxia, Z., Zhouping., S. 2006. Nutrient distributions and bio-cycle characteristics in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. Forests in hilly loess regions. Acta Ecologica Sinica. 26:373-382.
- Yang, W.Q., Wang, K.Y., Kellomäki, S., Zhang, J. 2006. Annual and monthly variations in litter macronutrients of three subalpine forests in Western China. Pedosphere. 16:788-798.
- Zapata, C.M., Ramírez, J.A, León, J.D., González, M.I. 2007. Producción de hojarasca fina en bosques de *Quercus humboldtii*, *Pinus patula* y *Cupressus lusitanica* de Antioquia, Colombia. Revista. Facultad. Nacional.de Agronomía. 60:3371-3784.
- Zitzer, S.F., Archer, S.R., Boutton, T.W., 1996. Spatial variability in the potential for symbiotic N<sub>2</sub> fixation by woody plants in a subtropical savanna ecosystem. Journal of Applied Ecology. 33:1125-1136.

## RESUMEN CURRICULAR

Tilo Gustavo Domínguez Gómez

Tesis: DEPOSICIÓN DE HOJARASCA Y RETORNO POTENCIAL DE NUTRIMENTOS EN DIFERENTES COMUNIDADES DE VEGETACIÓN.

Datos Personales: Nacido en Teapa, Tabasco, el día 27 de Diciembre de 1979, hijo de Nelson Domínguez Jiménez y Dora Eneida Gómez Ramos

Dirección Permanente: Lic. Adelor de Sala S/N Calle la Herradura Teapa, Tabasco, México.

Correo electrónico: gustavo\_dguezg@hotmail.com

### Educación:

Bachillerato (1995-1998)

Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 23, Santa, Ana, Pichucalco, Chiapas.

Licenciatura (1998-2003)

Ingeniero Agrónomo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa, km 25, Tabasco.

Maestría en Ciencias (2006-2008)

Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León.

### Experiencia y Distinciones:

Colaborador en el programa rehabilitación de praderas y pastizales a productores de Tabasco por el Instituto de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Febrero 2001-Diciembre 2001.

Profesor en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, impartiendo las asignaturas de Producción Agrícola y Agroecológica. 1 de Agosto del 2003 a Enero del 2005.

Coordinador del vivero de hule, Gobierno del Estado de Chiapas, Palenque, Chiapas. Desempeñando actividades de producción de plantas. Septiembre del 2005 á Agosto del 2006.

Miembro del padrón de Investigadores del Estado de Tabasco desde Junio del 2003 (CCYTET).

Estancia de Investigación: Desarrollando actividades sobre técnicas analíticas y experimentales en relaciones hídricas, nutrición mineral y pigmentos fotosintéticos Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León. Agosto 2002.

Becario del CONACYT para realizar estudios de Maestría en Ciencias Forestales: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León. 2006-2008.

## **APÉNDICE**



**Cuadro A1.** Resultados de las pruebas de normalidad para todas las observaciones en los componentes de la hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.

Componente de la Hojarasca	Prueba Estadística			
	Kolmogorov-Smirnov <sup>(a)</sup>		Shapiro-Wilk	
	Estadístico 1 <sup>(b)</sup>	Valor P	Estadístico 1 <sup>(b)</sup>	Valor P
Hojas	0.1809	<b>.0001</b>	0.6858	<b>.001</b>
Estructuras Reproductivas	0.3614	<b>.0001</b>	0.3405	<b>.001</b>
Ramas	0.2824	<b>.0001</b>	0.5703	<b>.001</b>
Otros	0.3961	<b>.0001</b>	0.2283	<b>.001</b>
Total	0.1615	<b>.0001</b>	0.7510	<b>.001</b>

<sup>(a)</sup>Con la corrección de Lilliefors; <sup>(b)</sup>Con 236 grados de libertad.

**Cuadro A2.** Resultados de las pruebas de normalidad, por fecha de muestreo y componente de la hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.

Fecha de Muestreo	Componente de la Hojarasca	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
04-Ene-07	Hojas	0.149	40	<b>.025</b>	0.896	40	<b>.001</b>	4.26	<b>.011</b>
04-Ene-07	Estruct. Rep.	0.251	40	<b>.001</b>	0.701	40	<b>.001</b>	9.22	<b>.001</b>
04-Ene-07	Ramas	0.192	40	<b>.001</b>	0.831	40	<b>.001</b>	2.54	.072
04-Ene-07	Otros	0.301	40	<b>.001</b>	0.574	40	<b>.001</b>	6.49	<b>.001</b>
04-Ene-07	Total	0.167	40	<b>.007</b>	0.916	40	<b>.006</b>	4.41	<b>.010</b>
19-Ene-07	Hojas	0.151	40	<b>.022</b>	0.900	40	<b>.002</b>	2.83	.052
19-Ene-07	Estruct. Rep.	0.404	40	<b>.001</b>	0.406	40	<b>.001</b>	29.23	<b>.001</b>
19-Ene-07	Ramas	0.317	40	<b>.001</b>	0.488	40	<b>.001</b>	15.72	<b>.001</b>
19-Ene-07	Otros	0.361	40	<b>.001</b>	0.363	40	<b>.001</b>	4.04	<b>.014</b>
19-Ene-07	Total	0.192	40	<b>.001</b>	0.917	40	<b>.006</b>	0.17	.915
03-Feb-07	Hojas	0.223	40	<b>.001</b>	0.604	40	<b>.001</b>	8.36	<b>.001</b>
03-Feb-07	Estruct. Rep.	0.487	40	<b>.001</b>	0.257	40	<b>.001</b>	3.27	<b>.032</b>
03-Feb-07	Ramas	0.149	40	<b>.026</b>	0.883	40	<b>.001</b>	1.36	.270
03-Feb-07	Otros	0.359	40	<b>.001</b>	0.484	40	<b>.001</b>	7.21	<b>.001</b>
03-Feb-07	Total	0.256	40	<b>.001</b>	0.642	40	<b>.001</b>	2.34	.090
18-Feb-07	Hojas	0.148	40	<b>.028</b>	0.854	40	<b>.001</b>	6.39	<b>.001</b>
18-Feb-07	Estruct. Rep.	0.248	40	<b>.001</b>	0.738	40	<b>.001</b>	5.32	<b>.004</b>
18-Feb-07	Ramas	0.185	40	<b>.001</b>	0.820	40	<b>.001</b>	6.09	<b>.002</b>
18-Feb-07	Otros	0.231	40	<b>.001</b>	0.785	40	<b>.001</b>	1.65	.196
18-Feb-07	Total	0.137	40	.056	0.870	40	<b>.001</b>	6.16	<b>.002</b>
05-Mar-07	Hojas	0.178	40	<b>.003</b>	0.816	40	<b>.001</b>	10.09	<b>.001</b>
05-Mar-07	Estruct. Rep.	0.351	40	<b>.001</b>	0.358	40	<b>.001</b>	4.05	<b>.014</b>
05-Mar-07	Ramas	0.182	40	<b>.002</b>	0.840	40	<b>.001</b>	1.07	.374
05-Mar-07	Otros	0.301	40	<b>.001</b>	0.492	40	<b>.001</b>	6.85	<b>.001</b>
05-Mar-07	Total	0.180	40	<b>.002</b>	0.836	40	<b>.001</b>	7.18	<b>.001</b>
20-Mar-07	Hojas	0.339	40	<b>.001</b>	0.587	40	<b>.001</b>	7.86	<b>.000</b>
20-Mar-07	Estruct. Rep.	0.300	40	<b>.001</b>	0.506	40	<b>.001</b>	2.63	.065
20-Mar-07	Ramas	0.269	40	<b>.001</b>	0.610	40	<b>.001</b>	2.43	.082
20-Mar-07	Otros	0.404	40	<b>.001</b>	0.230	40	<b>.001</b>	4.34	<b>.010</b>
20-Mar-07	Total	0.286	40	<b>.001</b>	0.629	40	<b>.001</b>	5.75	<b>.003</b>
04-Abr-07	Hojas	0.222	38	<b>.001</b>	0.835	38	<b>.001</b>	5.31	<b>.004</b>
04-Abr-07	Estruct. Rep.	0.250	38	<b>.001</b>	0.704	38	<b>.001</b>	9.30	<b>.001</b>
04-Abr-07	Ramas	0.277	38	<b>.001</b>	0.620	38	<b>.001</b>	6.08	<b>.002</b>
04-Abr-07	Otros	0.347	38	<b>.001</b>	0.428	38	<b>.001</b>	6.50	<b>.001</b>
04-Abr-07	Total	0.196	38	<b>.001</b>	0.819	38	<b>.001</b>	3.58	<b>.024</b>
19-Abr-07	Hojas	0.191	39	<b>.001</b>	0.842	39	<b>.001</b>	1.72	.180
19-Abr-07	Estruct. Rep.	0.265	39	<b>.001</b>	0.603	39	<b>.001</b>	2.84	.052
19-Abr-07	Ramas	0.227	39	<b>.001</b>	0.772	39	<b>.001</b>	5.27	<b>.004</b>
19-Abr-07	Otros	0.367	39	<b>.001</b>	0.534	39	<b>.001</b>	29.53	<b>.001</b>
19-Abr-07	Total	0.160	39	<b>.013</b>	0.910	39	<b>.004</b>	2.29	.095

(a) Con 3 y 36 grados de libertad, con excepción de la fecha de muestreo 04-Abr-07, que tiene 34 y las fechas de muestreo 19-abr-07, 04-May-07 y 19-May-07 con 35 g. l.

**Cuadro A2. Continuación**

Fecha de Muestreo	Componente de la Hojarasca	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
04-May-07	Hojas	0.154	39	<b>.020</b>	0.818	39	<b>.001</b>	3.31	<b>.031</b>
04-May-07	Estruct. Rep.	0.320	39	<b>.001</b>	0.474	39	<b>.001</b>	12.08	<b>.001</b>
04-May-07	Ramas	0.222	39	<b>.001</b>	0.766	39	<b>.001</b>	2.43	.082
04-May-07	Otros	0.376	39	<b>.001</b>	0.333	39	<b>.001</b>	3.36	<b>.030</b>
04-May-07	Total	0.145	39	<b>.039</b>	0.871	39	<b>.001</b>	0.14	.934
19-May-07	Hojas	0.223	39	<b>.001</b>	0.680	39	<b>.001</b>	5.64	<b>.003</b>
19-May-07	Estruct. Rep.	0.269	39	<b>.001</b>	0.702	39	<b>.001</b>	7.62	<b>.001</b>
19-May-07	Ramas	0.281	39	<b>.001</b>	0.754	39	<b>.001</b>	1.18	.331
19-May-07	Otros	0.305	39	<b>.001</b>	0.581	39	<b>.001</b>	5.47	<b>.003</b>
19-May-07	Total	0.189	39	<b>.001</b>	0.755	39	<b>.001</b>	4.37	<b>.010</b>
04-Jun-07	Hojas	0.159	40	<b>.013</b>	0.841	40	<b>.001</b>	2.16	.110
04-Jun-07	Estruct. Rep.	0.363	40	<b>.001</b>	0.330	40	<b>.001</b>	3.54	<b>.024</b>
04-Jun-07	Ramas	0.331	40	<b>.001</b>	0.427	40	<b>.001</b>	2.62	.066
04-Jun-07	Otros	0.306	40	<b>.001</b>	0.623	40	<b>.001</b>	7.88	<b>.001</b>
04-Jun-07	Total	0.235	40	<b>.001</b>	0.775	40	<b>.001</b>	2.11	.116
20-Jun-07	Hojas	0.142	40	<b>.040</b>	0.941	40	<b>.038</b>	2.82	.053
20-Jun-07	Estruct. Rep.	0.280	40	<b>.001</b>	0.711	40	<b>.001</b>	10.15	<b>.001</b>
20-Jun-07	Ramas	0.288	40	<b>.001</b>	0.555	40	<b>.001</b>	1.49	.233
20-Jun-07	Otros	0.272	40	<b>.001</b>	0.660	40	<b>.001</b>	15.35	<b>.001</b>
20-Jun-07	Total	0.127	40	.103	0.928	40	<b>.014</b>	1.11	.357
20-Jul-07	Hojas	0.191	40	<b>.001</b>	0.892	40	<b>.001</b>	4.81	<b>.006</b>
20-Jul-07	Estruct. Rep.	0.296	40	<b>.001</b>	0.629	40	<b>.001</b>	4.60	<b>.008</b>
20-Jul-07	Ramas	0.268	40	<b>.001</b>	0.675	40	<b>.001</b>	2.33	.091
20-Jul-07	Otros	0.263	40	<b>.001</b>	0.653	40	<b>.001</b>	3.22	<b>.034</b>
20-Jul-07	Total	0.133	40	.074	0.936	40	<b>.026</b>	4.11	<b>.013</b>
04-Ago-07	Hojas	0.147	40	<b>.029</b>	0.934	40	<b>.021</b>	4.15	<b>.013</b>
04-Ago-07	Estruct. Rep.	0.338	40	<b>.001</b>	0.414	40	<b>.001</b>	5.56	<b>.003</b>
04-Ago-07	Ramas	0.184	40	<b>.001</b>	0.846	40	<b>.001</b>	5.73	<b>.003</b>
04-Ago-07	Otros	0.337	40	<b>.001</b>	0.407	40	<b>.001</b>	5.86	<b>.002</b>
04-Ago-07	Total	0.097	40	.200	0.909	40	<b>.003</b>	1.14	.346
20-Ago-07	Hojas	0.231	40	<b>.001</b>	0.750	40	<b>.001</b>	9.84	<b>.001</b>
20-Ago-07	Estruct. Rep.	0.351	40	<b>.001</b>	0.450	40	<b>.001</b>	5.67	<b>.003</b>
20-Ago-07	Ramas	0.205	40	<b>.001</b>	0.810	40	<b>.001</b>	4.58	<b>.008</b>
20-Ago-07	Otros	0.315	40	<b>.001</b>	0.486	40	<b>.001</b>	2.66	.063
20-Ago-07	Total	0.185	40	<b>.001</b>	0.800	40	<b>.001</b>	5.81	<b>.002</b>
04-Sep-07	Hojas	0.207	40	<b>.001</b>	0.836	40	<b>.001</b>	4.27	<b>.011</b>
04-Sep-07	Estruct. Rep.	0.379	40	<b>.001</b>	0.333	40	<b>.001</b>	3.15	<b>.037</b>
04-Sep-07	Ramas	0.353	40	<b>.001</b>	0.598	40	<b>.001</b>	5.17	<b>.004</b>
04-Sep-07	Otros	0.394	40	<b>.001</b>	0.273	40	<b>.001</b>	5.98	<b>.002</b>
04-Sep-07	Total	0.172	40	<b>.004</b>	0.882	40	<b>.001</b>	0.36	.780

(a) Con 3 y 36 grados de libertad, con excepción de la fecha de muestreo 04-Abr-07, que tiene 34 y las fechas de muestreo 19-abr-07, 04-May-07 y 19-May-07 con 35 g. l.

**Cuadro A2. Continuación**

Fecha de Muestreo	Componente de la Hojarasca	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
20-Sep-07	Hojas	0.181	40	<b>.002</b>	0.757	40	<b>.001</b>	2.09	.119
20-Sep-07	Estruct. Rep.	0.315	40	<b>.001</b>	0.479	40	<b>.001</b>	5.59	<b>.003</b>
20-Sep-07	Ramas	0.239	40	<b>.001</b>	0.710	40	<b>.001</b>	3.14	<b>.037</b>
20-Sep-07	Otros	0.409	40	<b>.001</b>	0.271	40	<b>.001</b>	4.54	<b>.008</b>
20-Sep-07	Total	0.159	40	<b>.013</b>	0.813	40	<b>.001</b>	0.65	.587
05-Oct-07	Hojas	0.287	40	<b>.001</b>	0.458	40	<b>.001</b>	3.05	<b>.041</b>
05-Oct-07	Estruct. Rep.	0.249	40	<b>.001</b>	0.748	40	<b>.001</b>	4.64	<b>.008</b>
05-Oct-07-	Ramas	0.312	40	<b>.001</b>	0.453	40	<b>.001</b>	2.74	.057
05-Oct-07-	Otros	0.194	40	<b>.001</b>	0.749	40	<b>.001</b>	0.26	.850
05-Oct-07	Total	0.263	40	<b>.001</b>	0.519	40	<b>.001</b>	2.51	.074
20-Oct-07	Hojas	0.140	40	<b>.046</b>	0.831	40	<b>.001</b>	4.12	<b>.013</b>
20-Oct-07	Estruct. Rep.	0.241	40	<b>.001</b>	0.745	40	<b>.001</b>	0.49	.693
20-Oct-07	Ramas	0.204	40	<b>.001</b>	0.770	40	<b>.001</b>	2.40	.084
20-Oct-07	Otros	0.243	40	<b>.001</b>	0.626	40	<b>.001</b>	1.76	.173
20-Oct-07	Total	0.153	40	<b>.020</b>	0.858	40	<b>.001</b>	4.64	<b>.008</b>
05-Nov-07	Hojas	0.143	40	<b>.037</b>	0.880	40	<b>.001</b>	8.68	<b>.001</b>
05-Nov-07	Estruct. Rep.	0.271	40	<b>.001</b>	0.687	40	<b>.001</b>	3.55	<b>.024</b>
05-Nov-07	Ramas	0.174	40	<b>.004</b>	0.860	40	<b>.001</b>	3.63	<b>.022</b>
05-Nov-07	Otros	0.295	40	<b>.001</b>	0.551	40	<b>.001</b>	2.13	.114
05-Nov-07	Total	0.094	40	.200	0.956	40	.124	5.93	<b>.002</b>
20-Nov-07	Hojas	0.235	40	<b>.001</b>	0.729	40	<b>.001</b>	9.48	<b>.001</b>
20-Nov-07	Estruct. Rep.	0.332	40	<b>.001</b>	0.502	40	<b>.001</b>	4.66	<b>.007</b>
20-Nov-07	Ramas	0.156	40	<b>.015</b>	0.886	40	<b>.001</b>	1.68	.188
20-Nov-07	Otros	0.401	40	<b>.001</b>	0.235	40	<b>.001</b>	4.42	<b>.010</b>
20-Nov-07	Total	0.223	40	<b>.001</b>	0.731	40	<b>.001</b>	9.99	<b>.001</b>
05-Dic-07	Hojas	0.158	40	<b>.013</b>	0.854	40	<b>.001</b>	2.67	.062
05-Dic-07	Estruct. Rep.	0.364	40	<b>.001</b>	0.364	40	<b>.001</b>	3.47	<b>.026</b>
05-Dic-07	Ramas	0.211	40	<b>.001</b>	0.797	40	<b>.001</b>	2.42	.082
05-Dic-07	Otros	0.431	40	<b>.001</b>	0.226	40	<b>.001</b>	5.59	<b>.003</b>
05-Dic-07	Total	0.136	40	.060	0.896	40	<b>.001</b>	1.98	.135
20-Dic-07	Hojas	0.078	40	.200	0.967	40	.288	0.60	.621
20-Dic-07	Estruct. Rep.	0.465	40	<b>.001</b>	0.184	40	<b>.001</b>	4.70	<b>.007</b>
20-Dic-07	Ramas	0.223	40	<b>.001</b>	0.759	40	<b>.001</b>	3.46	<b>.026</b>
20-Dic-07	Otros	0.451	40	<b>.001</b>	0.218	40	<b>.001</b>	5.09	<b>.005</b>
20-Dic-07	Total	0.089	40	.200	0.938	40	<b>.030</b>	0.78	.511

(a) Con 3 y 36 grados de libertad, con excepción de la fecha de muestreo 04-Abr-07, que tiene 34 y las fechas de muestreo 19-abr-07, 04-May-07 y 19-May-07 con 35 g. l.

**Cuadro A3.** Resultados de las pruebas de normalidad para todas las observaciones de nutrientes. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.

Nutrimento	Prueba Estadística			
	Kolmogorov-Smirnov <sup>(a)</sup>		Shapiro-Wilk	
	Estadístico 1 <sup>(b)</sup>	Valor P	Estadístico 1 <sup>(b)</sup>	Valor P
Ca	0.087	<b>.001</b>	0.962	<b>.001</b>
K	0.127	<b>.001</b>	0.883	<b>.001</b>
Mg	0.090	<b>.001</b>	0.957	<b>.001</b>
P	0.050	.200	0.966	<b>.001</b>
N	0.083	<b>.001</b>	0.959	<b>.001</b>
Cu	0.076	<b>.002</b>	0.963	<b>.001</b>
Fe	0.210	<b>.001</b>	0.648	<b>.001</b>
Mn	0.216	<b>.001</b>	0.745	<b>.001</b>
Zn	0.140	<b>.001</b>	0.840	<b>.001</b>

<sup>(a)</sup>Con la corrección de Lilliefors; <sup>(b)</sup>Con 236 grados de libertad.

**Cuadro A4.** Resultados de las pruebas de normalidad, por fecha de muestreo y nutrimentos. Valores P en negritas ( $P < .05$ ) indican que no hay homogeneidad de varianzas.

Fecha de Muestreo	Nutrimento	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
19-Ene-07	Ca	0.141	20	.200	0.905	20	.051	0.82	.502
19-Ene-07	K	0.161	20	.182	0.905	20	.052	1.03	.405
19-Ene-07	Mg	0.244	20	<b>.003</b>	0.839	20	<b>.003</b>	2.53	.094
19-Ene-07	P	0.150	20	.200	0.955	20	.455	1.36	.291
19-Ene-07	N	0.117	20	.200	0.953	20	.410	2.89	.068
19-Ene-07	Cu	0.244	20	<b>.003</b>	0.843	20	<b>.004</b>	10.77	<b>.001</b>
19-Ene-07	Fe	0.208	20	<b>.023</b>	0.911	20	.068	0.47	.708
19-Ene-07	Mn	0.218	20	<b>.014</b>	0.828	20	<b>.002</b>	2.09	.142
19-Ene-07	Zn	0.193	20	<b>.049</b>	0.818	20	<b>.002</b>	1.88	.173
18-Feb-07	Ca	0.112	18	.200	0.926	18	.165	1.15	.360
18-Feb-07	K	0.163	18	.200	0.915	18	.106	2.45	.101
18-Feb-07	Mg	0.190	18	.084	0.870	18	<b>.018</b>	0.51	.681
18-Feb-07	P	0.162	18	.200	0.968	18	.755	3.29	<b>.048</b>
18-Feb-07	N	0.111	18	.200	0.962	18	.648	2.48	.098
18-Feb-07	Cu	0.218	18	<b>.023</b>	0.890	18	<b>.039</b>	2.08	.146
18-Feb-07	Fe	0.348	18	<b>.001</b>	0.454	18	<b>.001</b>	5.17	<b>.011</b>
18-Feb-07	Mn	0.286	18	<b>.001</b>	0.773	18	<b>.001</b>	12.53	<b>.001</b>
18-Feb-07	Zn	0.225	18	<b>.016</b>	0.836	18	<b>.005</b>	5.93	<b>.007</b>
20-Mar-07	Ca	0.204	20	<b>.029</b>	0.872	20	<b>.013</b>	1.72	.203
20-Mar-07	K	0.207	20	<b>.025</b>	0.800	20	<b>.001</b>	1.98	.158
20-Mar-07	Mg	0.161	20	.187	0.910	20	.065	3.08	.057
20-Mar-07	P	0.140	20	.200	0.960	20	.539	1.77	.194
20-Mar-07	N	0.161	20	.188	0.936	20	.198	5.41	<b>.009</b>
20-Mar-07	Cu	0.235	20	<b>.005</b>	0.866	20	<b>.010</b>	2.89	.068
20-Mar-07	Fe	0.142	20	.200	0.916	20	.081	1.71	.206
20-Mar-07	Mn	0.278	20	<b>.001</b>	0.754	20	<b>.001</b>	28.72	<b>.001</b>
20-Mar-07	Zn	0.235	20	<b>.005</b>	0.904	20	<b>.049</b>	1.42	.274
19-Abr-07	Ca	0.135	19	.200	0.963	19	.642	0.68	.579
19-Abr-07	K	0.213	19	<b>.023</b>	0.918	19	.106	2.78	.075
19-Abr-07	Mg	0.152	19	.200	0.930	19	.173	1.40	.280
19-Abr-07	P	0.116	19	.200	0.971	19	.787	1.62	.225
19-Abr-07	N	0.205	19	<b>.035</b>	0.912	19	.082	1.29	.313
19-Abr-07	Cu	0.131	19	.200	0.961	19	.601	4.00	<b>.027</b>
19-Abr-07	Fe	0.165	19	.188	0.848	19	<b>.006</b>	1.11	.372
19-Abr-07	Mn	0.189	19	.072	0.862	19	<b>.010</b>	2.99	.062
19-Abr-07	Zn	0.186	19	.082	0.899	19	<b>.047</b>	0.72	.555

<sup>(a)</sup> Con 3 y 16 grados de libertad.

**Cuadro A4. Continuación.**

Fecha de Muestreo	Nutrimento	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
19-May-07	Ca	0.145	20	.200	0.929	20	.148	0.60	.626
19-May-07	K	0.116	20	.200	0.956	20	.459	2.98	.063
19-May-07	Mg	0.142	20	.200	0.931	20	.161	1.22	.334
19-May-07	P	0.154	20	.200	0.935	20	.193	2.51	.096
19-May-07	N	0.191	20	.053	0.883	20	<b>.020</b>	4.15	<b>.024</b>
19-May-07	Cu	0.164	20	.166	0.888	20	<b>.024</b>	2.13	.137
19-May-07	Fe	0.337	20	<b>.001</b>	0.696	20	<b>.001</b>	9.77	<b>.001</b>
19-May-07	Mn	0.222	20	<b>.011</b>	0.805	20	<b>.001</b>	5.31	<b>.010</b>
19-May-07	Zn	0.211	20	<b>.020</b>	0.791	20	<b>.001</b>	3.67	<b>.035</b>
20-Jun-07	Ca	0.122	20	.200	0.938	20	.217	0.10	.960
20-Jun-07	K	0.203	20	<b>.031</b>	0.889	20	<b>.026</b>	1.99	.157
20-Jun-07	Mg	0.139	20	.200	0.951	20	.385	1.33	.300
20-Jun-07	P	0.133	20	.200	0.954	20	.439	8.81	<b>.001</b>
20-Jun-07	N	0.184	20	.074	0.879	20	<b>.017</b>	14.72	<b>.001</b>
20-Jun-07	Cu	0.184	20	.074	0.891	20	<b>.028</b>	0.10	.959
20-Jun-07	Fe	0.228	20	<b>.008</b>	0.761	20	<b>.001</b>	4.35	<b>.020</b>
20-Jun-07	Mn	0.194	20	<b>.047</b>	0.895	20	<b>.033</b>	6.29	<b>.005</b>
20-Jun-07	Zn	0.206	20	<b>.026</b>	0.862	20	<b>.008</b>	3.56	<b>.038</b>
20-Jul-07	Ca	0.136	20	.200	0.930	20	.157	1.62	.224
20-Jul-07	K	0.111	20	.200	0.952	20	.392	3.68	<b>.035</b>
20-Jul-07	Mg	0.107	20	.200	0.949	20	.346	3.11	.056
20-Jul-07	P	0.164	20	.161	0.869	20	<b>.011</b>	3.07	.058
20-Jul-07	N	0.174	20	.116	0.913	20	.074	4.60	<b>.017</b>
20-Jul-07	Cu	0.187	20	.065	0.920	20	.099	1.99	.155
20-Jul-07	Fe	0.185	20	.072	0.903	20	<b>.048</b>	1.11	.376
20-Jul-07	Mn	0.287	20	<b>.001</b>	0.794	20	<b>.001</b>	5.25	<b>.010</b>
20-Jul-07	Zn	0.176	20	.108	0.878	20	<b>.016</b>	4.60	<b>.017</b>
20-Ago-07	Ca	0.146	20	.200	0.913	20	.073	0.87	.476
20-Ago-07	K	0.128	20	.200	0.937	20	.207	1.30	.310
20-Ago-07	Mg	0.200	20	<b>.035</b>	0.907	20	.056	2.47	.100
20-Ago-07	P	0.158	20	.200	0.930	20	.153	2.57	.091
20-Ago-07	N	0.169	20	.136	0.923	20	.114	4.09	<b>.025</b>
20-Ago-07	Cu	0.163	20	.174	0.913	20	.072	0.64	.600
20-Ago-07	Fe	0.244	20	<b>.003</b>	0.848	20	<b>.005</b>	2.10	.140
20-Ago-07	Mn	0.272	20	<b>.001</b>	0.676	20	<b>.001</b>	18.37	<b>.001</b>
20-Ago-07	Zn	0.197	20	<b>.041</b>	0.777	20	<b>.001</b>	1.91	.168

<sup>(a)</sup>Con 3 y 16 grados de libertad.

**Cuadro A4. Continuación.**

Fecha de Muestreo	Nutrimento	Prueba Estadística							
		Komogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk			Levene <sup>(a)</sup>	
		Est1	g. l.	Valor P	Est2	g. l.	Valor P	Est3	Valor P
20-Sep-07	Ca	0.138	20	.200	0.944	20	.285	1.80	.188
20-Sep-07	K	0.218	20	<b>.013</b>	0.892	20	<b>.030</b>	2.42	.104
20-Sep-07	Mg	0.143	20	.200	0.915	20	.081	2.59	.089
20-Sep-07	P	0.145	20	.200	0.960	20	.550	4.21	<b>.023</b>
20-Sep-07	N	0.154	20	.200	0.920	20	.097	3.52	<b>.039</b>
20-Sep-07	Cu	0.137	20	.200	0.954	20	.436	2.16	.133
20-Sep-07	Fe	0.241	20	<b>.004</b>	0.743	20	<b>.001</b>	3.08	.057
20-Sep-07	Mn	0.235	20	<b>.005</b>	0.693	20	<b>.001</b>	6.60	<b>.004</b>
20-Sep-07	Zn	0.292	20	<b>.001</b>	0.828	20	<b>.002</b>	10.53	<b>.001</b>
20-Oct-07	Ca	0.153	19	.200	0.942	19	.282	2.43	.103
20-Oct-07	K	0.155	19	.200	0.956	19	.489	0.40	.757
20-Oct-07	Mg	0.149	19	.200	0.928	19	.162	3.44	<b>.042</b>
20-Oct-07	P	0.136	19	.200	0.951	19	.404	1.10	.377
20-Oct-07	N	0.122	19	.200	0.955	19	.480	2.18	.130
20-Oct-07	Cu	0.124	19	.200	0.951	19	.406	0.52	.674
20-Oct-07	Fe	0.216	19	<b>.020</b>	0.682	19	<b>.001</b>	2.90	.069
20-Oct-07	Mn	0.224	19	<b>.013</b>	0.739	19	<b>.001</b>	4.45	<b>.019</b>
20-Oct-07	Zn	0.200	19	<b>.045</b>	0.904	19	.057	1.12	.372
20-Nov-07	Ca	0.164	20	.162	0.932	20	.171	1.34	.298
20-Nov-07	K	0.140	20	.200	0.952	20	.404	1.22	.336
20-Nov-07	Mg	0.181	20	.084	0.935	20	.192	0.19	.904
20-Nov-07	P	0.120	20	.200	0.951	20	.381	0.74	.543
20-Nov-07	N	0.120	20	.200	0.946	20	.310	3.42	<b>.043</b>
20-Nov-07	Cu	0.194	20	<b>.047</b>	0.915	20	.080	2.26	.121
20-Nov-07	Fe	0.215	20	<b>.016</b>	0.720	20	<b>.001</b>	3.14	.054
20-Nov-07	Mn	0.282	20	<b>.001</b>	0.781	20	<b>.001</b>	5.02	<b>.012</b>
20-Nov-07	Zn	0.214	20	<b>.017</b>	0.867	20	<b>.010</b>	3.50	<b>.040</b>
20-Dic-07	Ca	0.141	20	.200	0.930	20	.151	5.14	<b>.011</b>
20-Dic-07	K	0.242	20	<b>.003</b>	0.815	20	<b>.001</b>	4.31	<b>.021</b>
20-Dic-07	Mg	0.154	20	.200	0.913	20	.074	5.33	<b>.010</b>
20-Dic-07	P	0.208	20	<b>.023</b>	0.883	20	<b>.020</b>	3.48	<b>.041</b>
20-Dic-07	N	0.154	20	.200	0.924	20	.118	4.81	<b>.014</b>
20-Dic-07	Cu	0.161	20	.188	0.936	20	.205	1.24	.328
20-Dic-07	Fe	0.274	20	<b>.001</b>	0.569	20	<b>.001</b>	5.74	<b>.007</b>
20-Dic-07	Mn	0.242	20	<b>.003</b>	0.735	20	<b>.001</b>	2.95	.064
20-Dic-07	Zn	0.270	20	<b>.001</b>	0.639	20	<b>.001</b>	2.98	.062

<sup>(a)</sup>Con 3 y 16 grados de libertad.



**Cuadro A5.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente hojas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	Vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
04-Ene-07	.052	.123	.023	.912	.009	.052
19-Ene-07	<b>.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.004</b>	.481	.529	.971
03-Feb-07	.009	.011	<b>.001</b>	.481	.052	.052
18-Feb-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.190	.052	.007
05-Mar-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.007	.035	.912
20-Mar-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.052	.009	.043	.853
04-Abr-07	.122	.481	.015	.237	.009	.007
19-Abr-07	.447	.481	.105	.211	.315	.075
04-May-07	.035	.190	<b>&lt;.001</b>	.842	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>
19-May-07	.079	.739	<b>.004</b>	.549	.013	.005
04-Jun-07	<b>&lt;.001</b>	.003	.019	.353	.529	.796
20-Jun-07	<b>.001</b>	.436	.011	.035	.123	.436
20-Jul-07	.315	.971	.796	.190	.579	.631
04-Ago-07	.105	.029	.105	1.000	.631	.579
20-Ago-07	.123	.029	<b>&lt;.001</b>	.912	.075	<b>.002</b>
04-Sep-07	.043	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.063	<b>.004</b>	.019
20-Sep-07	.043	<b>&lt;.001</b>	.218	.247	.353	.023
05-Oct-07	<b>.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.684	.280	.009	.011
20-Oct-07	.393	.529	.315	.063	.089	.063
05-Nov-07	<b>.001</b>	<b>.003</b>	.007	.631	.165	.089
20-Nov-07	.739	.353	.005	.105	<b>.003</b>	.035
05-Dic-07	.035	.529	<b>.002</b>	.190	.029	<b>.002</b>
20-Dic-07	.218	<b>&lt;.001</b>	.089	.043	.029	<b>&lt;.001</b>
Total Anual	<b>&lt;.001</b>	<b>.004</b>	.015	.280	.912	.529

**Cuadro A6.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente estructuras reproductivas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	Vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
04-Ene-07	<b>.001</b>	.631	.143	<b>.002</b>	.075	.190
19-Ene-07	<b>.004</b>	.143	.796	.089	.393	.481
03-Feb-07	.971	.089	.218	.143	.280	.912
18-Feb-07	.009	.393	.123	<b>.002</b>	.052	1.000
05-Mar-07	<b>.002</b>	.029	.796	<b>.002</b>	<b>&lt;.001</b>	.007
20-Mar-07	.019	.481	.684	.165	.247	.912
04-Abr-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.016	.055	.353
19-Abr-07	.013	.684	.190	.006	.211	.063
04-May-07	.079	.436	.739	.095	.211	.393
19-May-07	.549	.035	<b>&lt;.001</b>	.278	<b>.002</b>	<b>&lt;.001</b>
04-Jun-07	.075	.481	.005	.009	.247	<b>&lt;.001</b>
20-Jun-07	.912	.393	.004	.165	.529	.005
20-Jul-07	.019	.105	.105	.481	.393	.912
04-Ago-07	.089	<b>&lt;.001</b>	.739	.035	.631	.029
20-Ago-07	.089	.247	.393	.579	.853	.796
04-Sep-07	.015	.019	.739	.280	.052	.029
20-Sep-07	<b>.002</b>	.035	.190	.393	.105	.529
05-Oct-07	.009	.035	<b>&lt;.001</b>	.631	.218	.043
20-Oct-07	.035	.123	.035	.143	.739	.143
05-Nov-07	.007	<b>.004</b>	.075	.143	.063	.631
20-Nov-07	<b>.002</b>	.739	.143	<b>.004</b>	.853	.123
05-Dic-07	<b>.002</b>	1.000	.684	<b>.004</b>	<b>&lt;.001</b>	.796
20-Dic-07	<b>.002</b>	.218	.105	<b>.003</b>	<b>.003</b>	.971
Total Anual	.009	.052	.043	.123	.280	.436

**Cuadro A7.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente ramas. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
04-Ene-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.075	.143	<b>.001</b>	.009
19-Ene-07	.218	.436	.436	.190	.005	.043
03-Feb-07	.019	.436	.796	.007	<b>.001</b>	.143
18-Feb-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>	.029	<b>&lt;.001</b>	.007	.105
05-Mar-07	<b>.002</b>	<b>.003</b>	.190	.481	<b>.001</b>	.007
20-Mar-07	<b>.003</b>	.019	.684	.029	<b>.000</b>	.035
04-Abr-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.000</b>	.029	1.000	<b>.000</b>	<b>&lt;.001</b>
19-Abr-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>	.011	<b>.004</b>	<b>.003</b>	.393
04-May-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.007	.010	.013	.123
19-May-07	<b>.003</b>	<b>&lt;.001</b>	.035	.028	.278	.015
04-Jun-07	.143	.023	.853	.247	.089	.009
20-Jun-07	.019	<b>.004</b>	.019	1.000	.143	.075
20-Jul-07	<b>&lt;.001</b>	.631	.011	<b>.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.075
04-Ago-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.353	.280	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>
20-Ago-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.001</b>	<b>.002</b>	.631	.009	.011
04-Sep-07	.075	.247	1.000	.105	<b>.003</b>	.019
20-Sep-07	.011	.019	.529	.247	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>
05-Oct-07	<b>.002</b>	<b>.002</b>	.005	.393	.143	.029
20-Oct-07	.005	.005	.436	.971	.043	.063
05-Nov-07	<b>.002</b>	.011	.436	.247	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>
20-Nov-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.436	.009	<b>.001</b>	.005
05-Dic-07	<b>.001</b>	<b>.002</b>	.393	.393	<b>.000</b>	<b>&lt;.001</b>
20-Dic-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.011	.218	<b>.001</b>	<b>.001</b>
Total Anual	<b>&lt;.001</b>	<b>.003</b>	.353	.190	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>

**Cuadro A8.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el componente otros. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
04-Ene-07	<b>.002</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>.002</b>	.105	.481	.105
19-Ene-07	<b>.003</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.063	.143	.796
03-Feb-07	.019	<b>&lt;.001</b>	<b>.004</b>	.075	.393	.009
18-Feb-07	.015	.063	.529	.971	.280	.529
05-Mar-07	.005	.011	.436	.971	.105	.089
20-Mar-07	.143	<b>&lt;.001</b>	.023	.029	.853	.052
04-Abr-07	<b>.004</b>	<b>.004</b>	<b>&lt;.001</b>	1.000	.897	.684
19-Abr-07	.053	<b>.002</b>	<b>.004</b>	.043	.182	.481
04-May-07	.028	<b>&lt;.001</b>	.052	.017	.006	<b>&lt;.001</b>
19-May-07	.065	.029	.971	.905	.043	.029
04-Jun-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.280	.684	.143
20-Jun-07	.007	<b>.002</b>	.023	.393	.165	.035
20-Jul-07	.019	<b>&lt;.001</b>	.190	.105	.089	.000
04-Ago-07	.005	.015	.005	.481	.796	.143
20-Ago-07	.218	.043	<b>.003</b>	.143	.247	.912
04-Sep-07	.029	.019	.218	.796	.035	.029
20-Sep-07	<b>.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.009	.481	.123	.089
05-Oct-07	.436	.247	.063	.035	<b>.003</b>	.631
20-Oct-07	.631	.353	.315	.579	.353	.912
05-Nov-07	.481	.912	.796	.481	.684	.971
20-Nov-07	.075	.023	.035	.529	.579	.739
05-Dic-07	<b>.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.011	.052	.315	.007
20-Dic-07	.529	.019	.190	<b>.003</b>	.393	.011
Total Anual	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.105	.218	.007

**Cuadro A9.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para la deposición de hojarasca. Valores P en negritas ( $P < .0041$ ) indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
04-Ene-07	.005	.165	.075	.579	<b>.004</b>	.043
19-Ene-07	.029	.075	.052	.315	.853	.436
03-Feb-07	.043	.247	.011	.631	.052	.165
18-Feb-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.143	.105	<b>.003</b>
05-Mar-07	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>	.009	.005	.029	.631
20-Mar-07	<b>&lt;.001</b>	.007	.105	<b>.002</b>	.019	.684
04-Abr-07	<b>.001</b>	.007	.631	.021	<b>&lt;.001</b>	.015
19-Abr-07	.028	.436	.739	.497	.095	.393
04-May-07	.968	.105	.007	.156	<b>.004</b>	.029
19-May-07	.182	1.000	.315	.315	.356	.631
04-Jun-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.002</b>	<b>.004</b>	.631	.353	.631
20-Jun-07	.353	.853	.218	.247	.853	.353
20-Jul-07	.007	.529	.393	.023	.393	.912
04-Ago-07	.043	.007	.165	.353	.971	.315
20-Ago-07	.063	.007	<b>&lt;.001</b>	.631	.089	.035
04-Sep-07	.165	.015	.005	.529	.123	.123
20-Sep-07	.043	.019	.853	.971	.035	.019
05-Oct-07	<b>.001</b>	<b>.002</b>	.123	.247	.023	.089
20-Oct-07	.190	.796	.436	.075	.023	.123
05-Nov-07	<b>&lt;.001</b>	<b>.004</b>	.009	.579	.436	.247
20-Nov-07	.853	.393	.005	.579	.023	.043
05-Dic-07	.052	.436	<b>.001</b>	.481	<b>.004</b>	<b>.002</b>
20-Dic-07	.280	.011	.089	.035	.019	<b>&lt;.001</b>
Total Anual	<b>&lt;.001</b>	.019	.035	.165	.218	.796

**Cuadro A10.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Ca en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.056	.016	.016	.095	.032	.841
18-Feb-07	.095	.008	.008	.095	.056	.310
20-Mar-07	.016	.008	.008	.056	.016	.421
19-Abr-07	.095	.008	.008	.008	.032	1.000
19-May-07	.016	.008	.008	.032	.008	.548
20-Jun-07	.032	.008	.008	.056	.016	.690
20-Jul-07	.008	.008	.008	.008	.008	.095
20-Ago-07	.095	.151	.008	.421	.151	.151
20-Sep-07	.008	.008	.008	.032	.032	.690
20-Oct-07	.008	.008	.008	.056	.095	.690
20-Nov-07	.016	.016	.008	.151	.095	1.000
20-Dic-07	.008	.008	.008	.008	.008	.841

**Cuadro A11.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de K en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.690	1.000	.016	.421	.421	.548
18-Feb-07	.548	.151	.008	.095	.310	.310
20-Mar-07	.421	.032	.008	.222	.548	.310
19-Abr-07	.008	.008	.008	.421	.548	.421
19-May-07	.151	.151	.008	.032	.008	.310
20-Jun-07	.095	.095	.008	.421	.016	.151
20-Jul-07	.008	.008	.008	.151	.548	1.000
20-Ago-07	.095	.056	.008	.310	.016	.548
20-Sep-07	.016	.008	.008	.056	.032	.421
20-Oct-07	.310	.008	.008	.151	.016	.421
20-Nov-07	.095	.032	.008	.548	1.000	.421
20-Dic-07	.032	.310	.008	.690	.032	.151

**Cuadro A12.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Mg en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.690	.032	.008	.310	.095	.222
18-Feb-07	.421	.151	.421	.056	.222	1.000
20-Mar-07	.008	.008	.008	.095	.151	.690
19-Abr-07	.032	.008	.056	.151	.421	.421
19-May-07	.032	.008	.008	.151	.016	.056
20-Jun-07	.056	.008	.008	.151	.032	.056
20-Jul-07	.008	.008	.008	.151	.008	.032
20-Ago-07	.095	.056	.032	.421	.032	.690
20-Sep-07	.008	.008	.008	.016	.008	.841
20-Oct-07	.016	.008	.008	.310	.056	.310
20-Nov-07	.421	.032	.016	.095	.095	.421
20-Dic-07	.032	.008	.008	.056	.032	.690



**Cuadro A13.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de P en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.310	.008	.056	.032	.421	.095
18-Feb-07	.151	.151	.151	.008	.222	.095
20-Mar-07	.016	.008	.421	.095	.310	.032
19-Abr-07	.008	.008	.008	.310	1.000	.690
19-May-07	.008	.008	.008	1.000	.841	.841
20-Jun-07	.008	.008	.016	.690	.690	.548
20-Jul-07	.008	.016	.310	.548	.151	.222
20-Ago-07	.008	.016	.548	.421	.095	.056
20-Sep-07	.008	.008	.095	.841	.690	.310
20-Oct-07	.421	.008	.008	.095	.222	.222
20-Nov-07	.151	.151	.095	.548	.008	.032
20-Dic-07	.095	.056	.841	1.000	.310	.310

**Cuadro A14.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de N en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.008	.008	.008	.151	.548	.008
18-Feb-07	.008	.008	.008	.151	.548	.032
20-Mar-07	.032	.008	.008	.151	1.000	.008
19-Abr-07	.008	.008	.008	.421	.095	.310
19-May-07	.008	.008	.008	.690	.310	.690
20-Jun-07	.008	.008	.008	.548	.548	.310
20-Jul-07	.008	.008	.008	.151	.032	.151
20-Ago-07	.008	.008	.008	.310	.016	.008
20-Sep-07	.008	.008	.008	.548	.032	.151
20-Oct-07	.008	.008	.008	.032	1.000	.016
20-Nov-07	.008	.008	.032	.841	.032	.008
20-Dic-07	.008	.008	.008	.548	.548	.151

**Cuadro A15.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Cu en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.310	.548	.222	.548	.841	.548
18-Feb-07	.905	.413	.286	1.000	.095	.016
20-Mar-07	.548	.008	.008	.310	.095	.008
19-Abr-07	.016	.016	.008	.310	.841	.095
19-May-07	.008	.008	.008	.032	.095	.032
20-Jun-07	.008	.008	.008	.008	.548	.008
20-Jul-07	.008	.008	.008	.151	.151	1.000
20-Ago-07	.016	.151	.008	.310	.151	.032
20-Sep-07	.008	.008	.008	1.000	.016	.056
20-Oct-07	.548	.056	.016	.222	.056	.151
20-Nov-07	.548	.151	.421	.690	.690	.222
20-Dic-07	.008	.008	.008	1.000	.222	.310

**Cuadro A16.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo y total anual, para el contenido de Fe en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

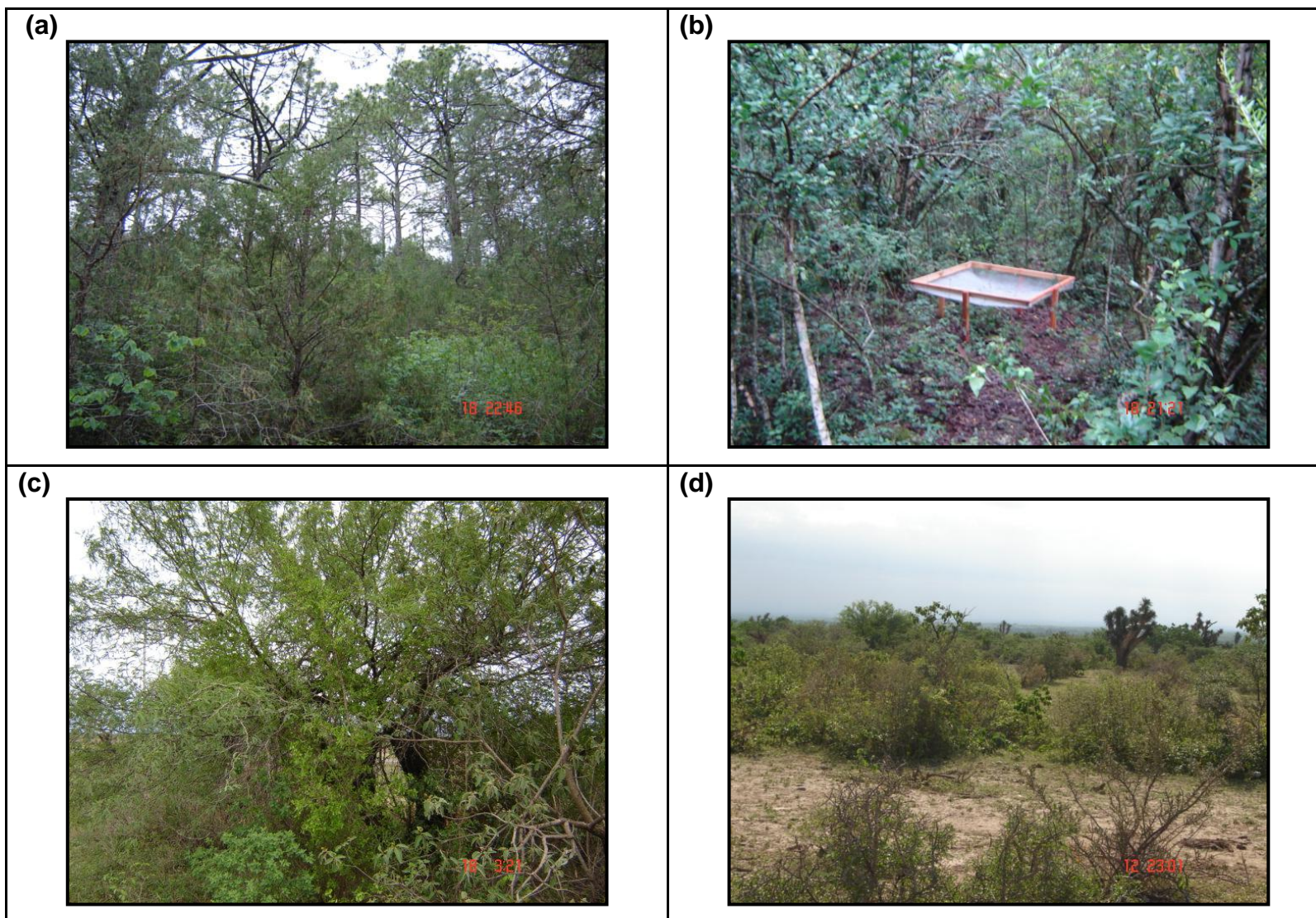
Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.690	.310	.222	.151	.222	.548
18-Feb-07	1.000	.151	.056	.095	.032	.095
20-Mar-07	.151	.008	.008	.008	.008	.056
19-Abr-07	.151	.310	.095	.056	.056	.151
19-May-07	.548	.310	.095	.095	.056	.222
20-Jun-07	.841	.016	.008	.222	.016	.016
20-Jul-07	.841	.032	.016	.222	.032	.310
20-Ago-07	.310	.032	.008	.151	.008	.016
20-Sep-07	.222	.222	.032	.016	.008	.421
20-Oct-07	.032	.690	.548	.063	.032	.421
20-Nov-07	.032	.056	.032	.841	.841	.841
20-Dic-07	.151	.548	.008	.548	.151	.016

**Cuadro A17.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Mn en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

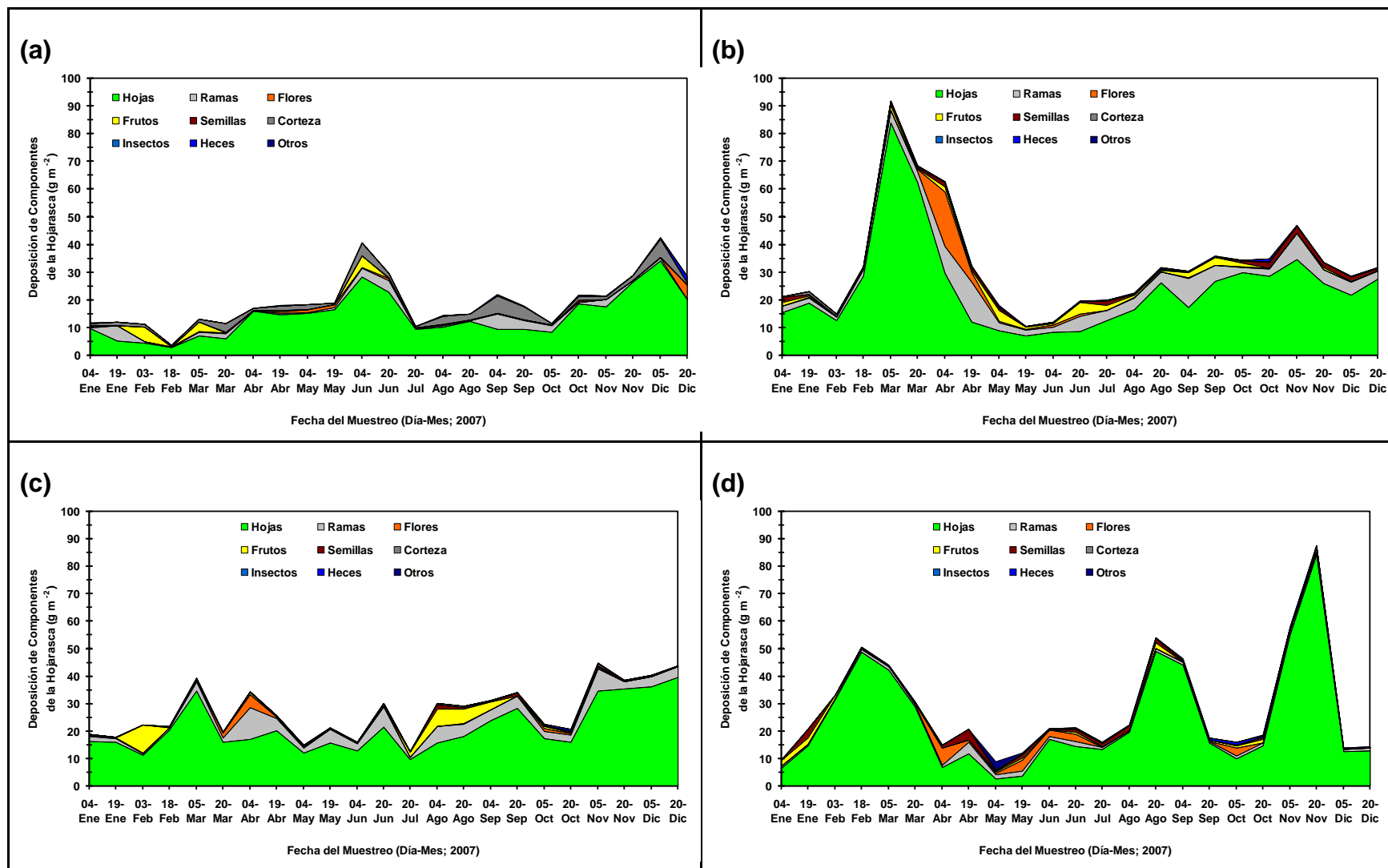
Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.548	.095	.548	.016	.690	.032
18-Feb-07	1.000	.151	.548	.016	.151	.056
20-Mar-07	.690	.421	.841	.008	.032	.008
19-Abr-07	.151	.548	.151	.008	.548	.008
19-May-07	.008	.032	.008	.016	.310	.008
20-Jun-07	.008	.032	.008	.008	.690	.008
20-Jul-07	.016	.151	.056	.008	.222	.016
20-Ago-07	.008	.421	.016	.008	.095	.056
20-Sep-07	.032	.690	.151	.008	.095	.016
20-Oct-07	.056	1.000	.310	.095	.222	.016
20-Nov-07	.032	.841	.421	.008	.016	.008
20-Dic-07	.310	.690	.310	.151	.421	.056

**Cuadro A18.** Valores P de la prueba de comparación de medias de Mann-Whitney U para detectar diferencias entre los sitios de estudio, por fecha de muestreo, para el contenido de Zn en el componente hojas. Valores  $P < .0041$  indican diferencias entre las medias para los sitios comparados.

Fecha de Muestreo	Comparación de Medias					
	Bosque Escuela			Crucitas		Campus
	Vs			vs		vs
	Crucitas	Campus	Cascajoso	Campus	Cascajoso	Cascajoso
19-Ene-07	.310	.421	1.000	.841	1.000	.548
18-Feb-07	.063	.413	.190	.310	.056	.151
20-Mar-07	.016	.222	.151	.222	.056	.151
19-Abr-07	.111	.841	.310	.063	.905	.310
19-May-07	.016	.151	.008	.151	.222	.151
20-Jun-07	.056	.690	.008	.095	.222	.008
20-Jul-07	.151	.151	.690	.841	.222	.310
20-Ago-07	.310	.095	.690	.690	.690	.548
20-Sep-07	.056	.548	.421	.056	.548	.690
20-Oct-07	.008	.310	.151	.032	.095	.548
20-Nov-07	.222	.421	.841	.548	.690	.841
20-Dic-07	.548	1.000	.056	.841	.151	.151



**Figura A1.** Panorámica de los sitios de estudio. Bosque Escuela (a), Crucitas (b), Campus (c) y Cascajoso (d).



**Figura A2.** Deposición de los diferentes componentes de la hojarasca en Bosque Escuela (a), Crucitas (b), Campus (c) y Cascajoso (d).



